

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav techniky a automobilové dopravy



**Posouzení vlivu paliva na parametry zážehového
motoru**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Pavel Sedlák, CSc

Vypracoval:
Bc. Václav Růžička

Brno 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci POSOUZENÍ VLIVU PALIVA NA PARAMETRY ZÁŽEHOVÉHO MOTORU vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

Poděkování

Děkuji panu prof. Ing. Pavlovi Sedlákovu, Csc., vedoucímu mé diplomové práce, za metodické vedení práce a cenné rady, které mi ochotně poskytoval během zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Marku Žákovi, Ph.D. a Ing. Vítu Podlipnému za pomoc při měření dat a obsluze zkušebny.

ABSTRAKT

Diplomová práce v teoretické části pojednává o současných palivech pro zážehové motory. Popisují se zde konvenční paliva: benzín, plynná biopaliva a kapalná biopaliva. Tato část je blíže rozdělena na: seznámení s výrobou, surovinami pro výrobu a s jejich klady a zápory. Paliva jsou mezi sebou porovnávána v tabulkách. V samostatné kapitole je podrobněji rozepsáno biopalivo etanol, na kterém probíhalo měření v praktické části.

V praktické části je popsána motorová zkušebna, dynamometr a motor, na kterém se provádělo měření. Na motoru se porovnával vliv paliva (N95, E70 a E32) na výkon a točivý moment motoru, spotřebu paliva, teplotu výfukových plynů, účinnost motoru a energie dodávané v palivu. Výsledky sledovaných parametrů jsou uvedeny v tabulkách a porovnány v grafech. Z výsledků je patrné, že etanol má pozitivní vliv na výkon a točivý moment motoru. Negativní dopad etanolu v palivu je na zvýšenou spotřebu paliva.

Klíčová slova: Kapalná paliva, biopaliva, emise, výkon, spotřeba paliva.

ABSTRACT

Diploma thesis describes current fuels for gasoline engines in theoretical part. It describes conventional fuels: gasoline, gaseous biofuels and liquid biofuels. This section talks about: familiarization with manufacturing, raw materials for production with their pros and cons. Fuels are comparing with one another in the tables. In a separate chapter is more about biofuel ethanol, which were measured in the practical part.

The practical part describes the motor testing, dynamometer and engine on which measurements were made. On the engine we compared the effects of fuel (N95, E70 and E32) to power and torque, fuel consumption, exhaust gas temperature, engine efficiency and the energy supplied in the fuel. The results of monitored parameters are listed in tables and compared in graphs. The results show that ethanol has a positive effect on performance and engine torque. The negative impact of ethanol in the fuel is increased fuel consumption.

Keywords: Liquid fuels, biofuels, emissions, performance, fuel consumption.

OBSAH

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | ÚVOD..... | 9 |
| 2 | OMEZENÉ SVĚTOVÉ ZÁSOBY ROPY | 10 |
| 3 | PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY | 11 |
| 3.1 | Benzín | 11 |
| 3.1.1 | Charakteristika benzínu | 12 |
| 4 | ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY | 13 |
| 4.1 | Plynná paliva..... | 13 |
| 4.1.1 | LPG..... | 13 |
| 4.1.2 | Zemní plyn (CNG/LNG) | 16 |
| 4.1.3 | Bioplyn..... | 19 |
| 4.1.4 | Výhody a nevýhody bioplynu..... | 21 |
| 4.2 | Kapalná paliva..... | 22 |
| 4.2.1 | Alkoholy | 22 |
| 4.2.2 | Ethery..... | 25 |
| 5 | Bioethanol..... | 26 |
| 5.1 | Výroba bioethanolu..... | 27 |
| 5.2 | Suroviny pro výrobu bioethanolu..... | 28 |
| 5.3 | Bioethanol v České republice a ve Světě | 28 |
| 5.4 | Paliva obsahující bioethanol | 30 |
| 5.4.1 | E5..... | 30 |
| 5.4.2 | E10..... | 30 |
| 5.4.3 | E85..... | 31 |
| 6 | EMISE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ..... | 32 |
| 6.1 | Emise zážehových motorů | 33 |
| 6.1.1 | CO..... | 33 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 6.1.2 | CO ₂ | 33 |
| 6.1.3 | NO _x | 33 |
| 6.1.4 | HC | 33 |
| 7 | VLASTNÍ PRÁCE | 34 |
| 7.1 | Cíl práce | 34 |
| 7.2 | Popis motorové zkušebny | 34 |
| 7.2.1 | Charakteristika dynamometru..... | 37 |
| 7.2.2 | Charakteristika motoru | 37 |
| 7.3 | Metodika měření | 39 |
| 7.3.1 | Příprava měřicí zkušebny..... | 39 |
| 7.3.2 | Atmosférické podmínky při měření..... | 39 |
| 7.3.3 | Postup měření | 39 |
| 7.3.4 | Vztahy pro výpočty..... | 41 |
| 7.4 | Výsledky měření | 42 |
| 8 | DISKUZE A ZÁVĚR | 53 |
| 9 | POUŽITÁ LITERATURA | 56 |
| 10 | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 63 |
| 11 | SEZNAM TABULEK | 64 |

1 ÚVOD

V současné době je lidstvo závislé na dopravních prostředcích, bez kterých by každodenní život člověka byl nepředstavitelný. Jedná se o osobní automobily, nákladní automobily a autobusy. Dopravní prostředky lidé využívají pro svoji přepravu a přepravu věcí. Počet automobilů se neustále zvyšuje. Nyní je jejich počet více jak 1 miliarda a v budoucnu můžeme předpokládat, že na jednoho obyvatele bude připadat jeden automobil. Vzhledem k vyššímu počtu automobilů, roste i spotřeba ropy. Velká většina automobilů je poháněna spalovacím motorem. Pro jehož pohon je zapotřebí palivo vyráběné z ropy. Spotřeba ropy s rostoucím počtem automobilů se rychle zvyšuje a předpokládá se její vyčerpání během 53,3 let [16]. Z důsledku vyšší spotřeby ropy se emise výfukových plynů zvyšují a negativně ovlivňují životní prostředí. Proto se automobily intenzivně věnují alternativním palivům. Snaží se, aby lidská populace byla v dopravě méně závislá na ropě a využívala i alternativní zdroje, které jsou mnohem méně škodlivé k životnímu prostředí a lépe dostupné.

Alternativní paliva mohou být vyráběna z fosilních paliv, jako je ropa a zemní plyn, ale také z obnovitelných zdrojů. Mezi nejrozšířenější alternativní palivo patří LPG, LNG/CNG. Začínají se ale objevovat automobily, které jsou poháněny bioplynem, biobutanolem, bioetanolem a biometanolem. Pro výrobu těchto biopaliv slouží biomasa (hmota organického původu). Etanol, se už dnes díky zákonu č. 172/2010 Sb. musí povinně v množství 4,1 % přimíchávat do benzínu. [48]

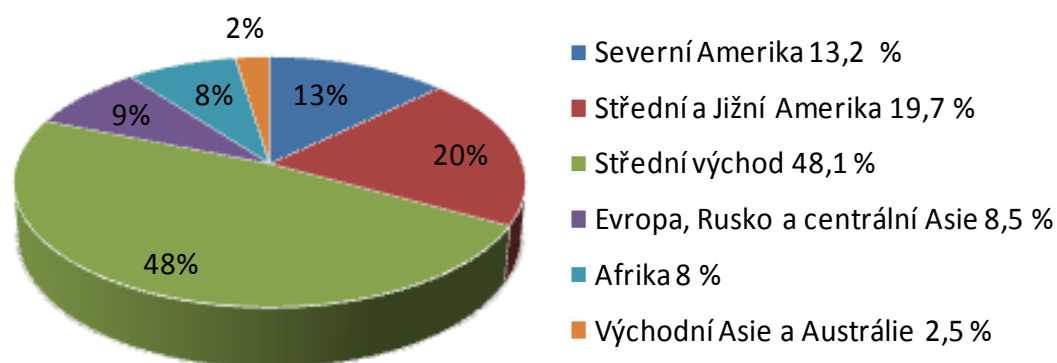
Biopaliva vyráběná z biomasy jsou velmi ohleduplná k životnímu prostředí. Spalovací motor při spalování paliva spotřebovává kyslík a produkuje oxid uhličitý. Rostliny při svém vývoji a růstu oxid uhličitý spotřebují a za pomoci fotosyntézy ho přetváří na kyslík. Jde o uzavřený koloběh tvorby a spotřeby oxidu uhličitého a kyslíku. Proto je důležité vyrábět paliva z obnovitelných zdrojů a stát se mnohem méně závislými na fosilních palivech.

2 OMEZENÉ SVĚTOVÉ ZÁSoby ROPY

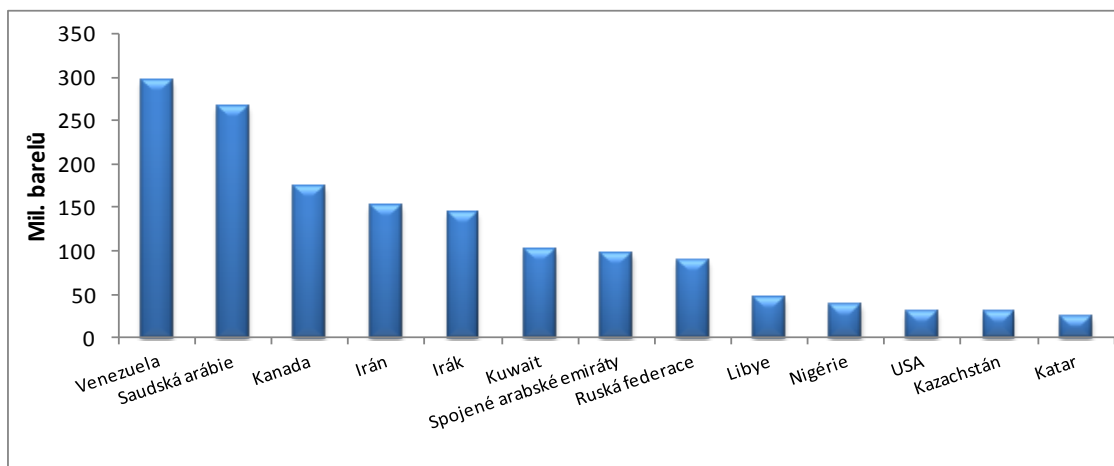
V dnešní době je důležité řešit alternativní paliva pro motorová vozidla. Příčinou je snižování výfukových emisních plynů, které mají nepříznivý dopad na životní prostředí. Dalším důvodem jsou klesající zásoby fosilních paliv. Můžeme tak očekávat pokles těžby ropy a růst jejich cen. Cena je také další důvod vývoje alternativních pohonů. Směr vývoje je udáván ekonomickými a ekologickými aspekty.

V roce 1973 byla první naftová krize. Tato krize sloužila pro politický nátlak. Proto prohlásili, že používání fosilních paliv je omezené a zásoby fosilních paliv nemohou stačit na stoupající spotřebu energie. Dnes je 90 % světové spotřeby energie zastoupeno ropou, uhlím a plynem. Ropa se dnes podílí zhruba na 40 % světové spotřeby energie a je jedním z nejdůležitějších nosičů energie. [30; 60]

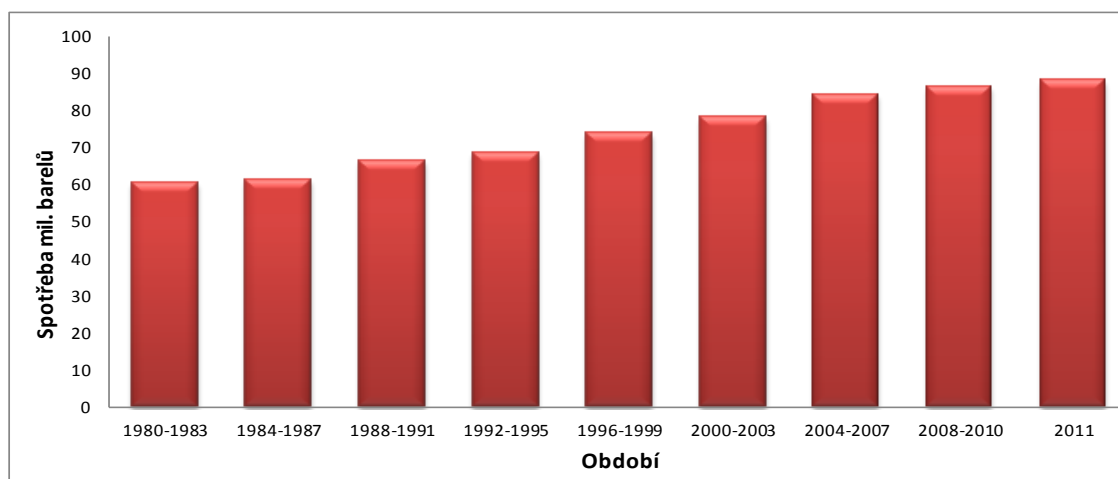
Ropa je nejvýznamnější surovinou v současné době. Zatím se za ropu nepovedlo najít plnohodnotnou náhradu. Aktuálně se odhadují světové zásoby ropy na 1,65 bilionu barelů, což je zhruba $2,623 \cdot 10^{17}$ litrů ropy. Vzhledem ke spotřebě, zásobám a těžbě ropy, by mělo toto množství světových zásob vydržet zhruba 53,3 let. Denní spotřeba ropy je okolo 90 mil. barelů. Tato spotřeba je o něco větší než denní těžba ropy, která činí zhruba 87 mil. barelů. Tento rozdíl však pokrývají národní zásoby ropy. Rezervy ropy představují 71,9 % z celkového množství na světě. Na obr. 1 můžeme porovnat světové zásoby ropy v jednotlivých regionech v roce 2011. Na obr. 2 je 13 zemí s největšími zásobami ropy a na obr. 3 je vývoj spotřeby ropy ve světě od roku 1980 až do roku 2011. [15; 16; 60]



Obr. 1: Zásoby ropy v jednotlivých regionech (v roce 2011) [60]



Obr. 2: Země s největšími zásobami ropy [60]



Obr. 3: Průběh spotřeby ropy ve světě za den [60]

3 PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY

Automobily se zážehovými motory jsou poháněny konvenčním palivem a to benzínem. Benzín můžeme rozdělit do tří základních skupin: automobilový, letecký a technický (rozpouštědla). Automobily se zážehovým motorem mohou být poháněny i alternativními palivy.

3.1 Benzín

Benzín je palivo, používané pro pohon automobilů se zážehovými motory a získává se z ropy, která je směsí kapalných, plynných a tuhých látek. Z ropy se získává první fázi frakční destilací, odsířením a dalšími technologickými procesy, které mají za úkol vyrobit složku s vyšším oktanovým číslem.

3.1.1 Charakteristika benzínu

Pro dokonalé spálení 1 kg benzínu, což je zhruba asi 1,3 litrů, je zapotřebí 14,5 kg vzduchu. Pokud bude použito větší množství vzduchu, bude se jednat o chudou směs. V případě, menšího množství vzduchu mluvíme o bohaté směsi. Nejvyšší výkon motoru se dosahuje při lehce bohaté směsi. Při bohaté směsi je však vyšší spotřeba paliva.

Benzín obsahuje kapalné uhlovodíky se 4 až 10 atomy uhlíku, které jsou různě uspořádány v molekule. V benzínu se mohou vyskytovat přísady kyslíkatých látek, které zlepšují vlastnosti benzínu a zvyšují jeho oktanové číslo. Bod varu benzínu je zhruba 35 – 210 °C a hustota při 15 °C je 725 – 780 kg.m⁻³. Představuje to zhruba 20 – 30 % destilované ropy. Bod vzplanutí je pod -35 °C a bod tekutosti je < -45 °C. Teplota vznícení je cca 450 °C. Tlak par benzínu je 45 – 90 kPa. Výhřevnost paliva je 43,5 MJ.kg⁻¹, výparné teplo je 290 kJ.kg⁻¹ a oktanové číslo benzínu je 90 až 100. [10; 40; 41; 61; 62]

3.1.1.1 Oktanové číslo

Benzín je charakteristický oktanovým číslem. Je to veličina, která udává odolnost benzínu vůči tzv. klepání. Někdy označováno jako detonační spalování. Spálení paliva proběhne rychleji než za normálních podmínek a projevuje se to tzv. klepáním. Je zapotřebí, aby u benzínu byl vyšší podíl rozvětvených uhlovodíků. Čím je vyšší oktanové číslo, tím je benzín odolnější vůči klepání.

Oktanové číslo je vyjádřeno procentuelním objemovým podílem izooktanu a n-heptanu ve směsi. Izooktan, který je známý jako 2,2,4 – trimethylpentan, má přiřazenou hodnotou oktanového čísla 100. N-heptan, který je nejvíce náchylný ke klepání, má přiřazenou hodnotu oktanového čísla 0. [40; 41; 53; 62]

Oktanové číslo 95 vyjadřuje stejnou odolnost vůči detonačnímu spalování, jako směs s 95 % izooktanu a 5 % heptanu. [62]

3.1.1.2 Základní požadavky na benzín

- „dobrá odpařivost za nízkých teplot pro zajištění startovatelnosti,
- nesmí obsahovat těžší frakční podíly (nad 210 °C), aby nedocházelo ke smývání olejového filmu na stěně válce a ředění oleje v motorové skříni,
- malý obsah síry, která způsobuje korozi palivového systému, způsobuje pokles oktanového čísla benzínu a zvyšuje obsah škodlivin ve výfukových plynech motoru,
- nesmí obsahovat pryskyřice, které způsobují zanášení trysek a usazují se v sacím potrubí a na sacím ventilu,
- dlouhodobá stabilita zabezpečující nízké ztráty při skladování.“ [62]

4 ALTERNATIVNÍ PALIVA PRO ZÁŽEHOVÉ MOTORY

V současné době existují dvě skupiny alternativních paliv pro zážehové motory. První skupinou jsou plynná paliva, kam patří LPG, LNG, CNG a bioplyn. Druhou skupinou jsou kapalná paliva. Do kapalných paliv patří ethery (ETBE a MTBE) a alkoholy (etanol, metanol, butanol, bioetanol, biometanol a biobutanol).

4.1 Plynná paliva

V současné době roste zájem o plynná paliva. Důvodem provozu vozidel na plynná paliva je jejich ekologičtější provoz a nižší cena paliva. Plynná paliva jsou dlouhodobě levnější než kapalná. Vozidla na plynná paliva se používají v místech s vysokým znečištěním ovzduší.

4.1.1 LPG

LPG je v současné době nejrozšířenější alternativní palivo, které se využívá několik desítek let. LPG je zkapalněná směs plynů propan-butan, která se získává z ropných plynů. Výroba LPG z ropy začíná být omezená vlivem nízkých světových zásob ropy. Zvyšuje se tak produkce LPG ze zemního plynu.

„Zkapalněné ropné plyny lze získat ze dvou zdrojů a to ze zemního plynu (zhruba 60 % celkové bilance LPG) a z ropných rafinerií, z primárního i sekundárního zpracování ropy (zhruba 40 % celkové bilance LPG).“ [55]

LPG obsahuje malé množství síry, neobsahuje olovo a benzenové uhlovodíky. Poměr propanu a butanu v LPG je závislý na ročním období a státu. V ČR má LPG v letní směsi 40 % propanu a 60 % butanu. V zimním období je to opačně, 40 % butanu a 60 % propanu. LPG se nejčastěji získává z ropy a zemního plynu. Není vyráběno z obnovitelných zdrojů, a proto není palivem budoucnosti. LPG má o 5 – 10 % vyšší oktanové číslo než benzín. V tab. 1 jsou porovnány základní vlastnosti benzínu N95 s LPG. [23; 57; 62]

Tab. 1: Porovnání základních vlastností LPG a benzínu [41; 61; 62]

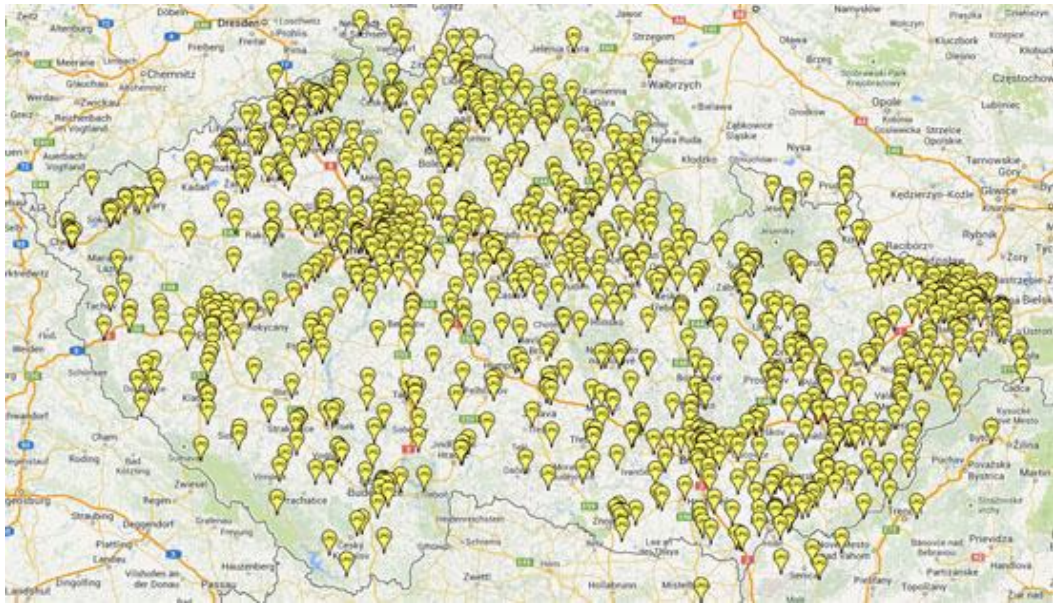
| Palivo | Antidetonační odolnost - OČ MM/VM | Hustota | Výhřevnost HÚ |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------------|
| | | kg.m ⁻³ | MJ.kg ⁻¹ |
| Benzín N95 | 85/95 | 725 - 780 | 43,5 |
| LPG (p/b = 60/40) | 95/105 | 540 | 46,06 |

LPG můžeme popsat jako bezbarvý plyn, který je bez zápachu, vysoce výbušný a hořlavý. Bod vzplanutí LPG je pod 0 °C. Za pomoci stlačení nebo ochlazení tento plyn uvedeme do kapalného stavu, kdy se zmenší jeho objem a je tak lépe uskladnitelný. Při zkapalnění 250 litrů plynné směsi propan-butan, získáme 1 litr kapaliny. Páry z LPG jsou těžší než vzduch a shromažďují se v níže položených místech. [61]

S LPG lze dosáhnout dobré homogenní směsi se vzduchem. Automobily poháněné LPG mají podobné jízdní vlastnosti jako u provozu automobilů na benzín. Při jeho spalování jsou nižší emise CO. Snižuje se také vznik skleníkového efektu, protože při spalování LPG vzniká o 25 % méně CO₂. Emise oxidu dusíku NO_x jsou podobné s benzínem. Těchto nižších hodnot dosáhneme za předpokladu kvalitní směsi a správného seřízení systému LPG. Při použití recirkulace spalin se dosáhne nižší hodnoty oxidu dusíku NO_x. [26; 30]

Automobil se může v dnešní době dodatečně přestavět na pohon LPG nebo to výrobci automobilů nabízí jako rozšířenou nabídku pohonných jednotek. Přestavba může být u automobilů se zážehovým a vznětovým motorem. U zážehového motoru jde o méně náročnou a i levnější variantu, oproti vznětovému. Se vzrůstajícím počtem automobilů na LPG, roste počet čerpacích stanic, kde lze LPG natankovat. Jsou čerpací stanice čistě s LPG nebo se jedná o klasickou čerpací stanici, kde je možnost tankovat LPG, benzín a naftu. V současné době je zhruba 900 čerpacích míst LPG v České re-

publice (obr. 4). Můžeme však očekávat, že tento počet se bude neustále zvyšovat. V ČR je možné použít pouze LPG, které odpovídá normě ČSN EN 589: 2004. [26; 55]

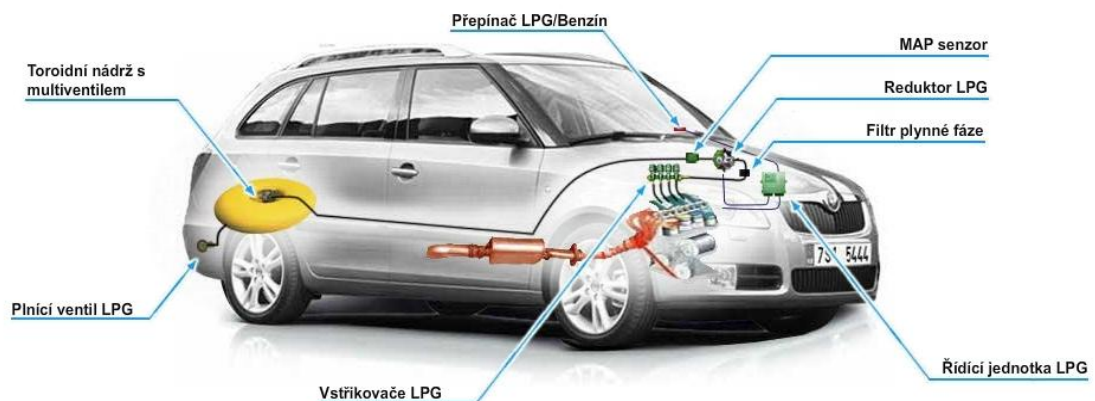


Obr. 4: Síť čerpacích stanic LPG

Zdroj: www.seznamlpg.cz

4.1.1.1 Součásti systému LPG

Automobily poháněné palivem LPG potřebují předepsané příslušenství: palivovou nádrž (toroidní nebo válcovou) s multiventilem, palivové potrubí, plnicí ventil, výparník, regulátor tlaku paliva, seřizovací prvky, reduktor, bezpečnostní ventily a regulační ventily, vstřikovače, vlastní řídicí jednotku, přepínač LPG/benzín, MAP senzor, filtr plynné fáze a palivoměr. Umístění některých součástí je zobrazeno v obr. 5.



Obr. 5: Součásti LPG systému [6]

4.1.1.2 Vliv LPG na motor

Mezi nejvíce namáhané součásti patří zapalovací soustava. Zapalovací svíčky a kabely musí být v dokonalém stavu. Jejich životnost je maximálně 15 000 km. Další namáhanou součástí je výfukový systém. Výfukové plyny mají vyšší teplotu a neobsahují pevné části, které by se usadily na potrubí a chránily ho tak proti korozi. Dále by měla být ve velmi dobrém stavu chladicí soustava, protože při vyšších teplotách může docházet k přehřátí motoru. Dochází také k většímu namáhání zadní nápravy. Je to v případě použití větší nádrže na LPG. Vozidlo je nevyvážené a má nižší světlou výšku. [55]

4.1.1.3 Výhody a nevýhody LPG

Výhody:

Levnější cena paliva, nižší škodliviny, vysoká antidetonační odolnost, vyšší výhřevnost, delší životnost oleje, delší životnost motoru (bez karbonových usazenin), tišší chod motoru, delší dojezd díky dvěma nádržím, osvobození od silniční daně a provoz vozidla čistě na LPG nebo benzín.

Nevýhody:

Vyšší spotřeba plynu o 20 %, nižší výkon o 5 %, vyšší hmotnost vozidla, další servisní prohlídky a kontroly zařízení LPG, stejné hlavní škodliviny jako u benzínu, nejedná se o obnovitelný zdroj energie, pořizovací investice, menší zavazadlový prostor při použití válcové nádrže a absence rezervního kola při použití toroidní nádrže. [62]

4.1.2 Zemní plyn (CNG/LNG)

CNG (*Compressed Natural Gas*) je stlačený zemní plyn v zásobníku tlakem 200 barů. LNG (*Liquified Natural Gas*) je zkapalněný zemní plyn s teplotou -162 °C. Tím se jeho objem zhruba 600× zmenší. [55; 61]

Zemní plyn prochází základní úpravou. Je zbavován vlhkosti a pevných částí. U zemního plynu jede o závěrečnou úpravu, ale u kapalných paliv následují další procesy v rafinériích. Zemní plyn se těží z ložisek, která se nacházejí na pevnině a pod mořským dnem. Vytěžený plyn putuje potrubím a je upravován na potřebnou kvalitu. Můžeme ho v přírodě najít i jako důlní a bahenní plyn.

Zemní plyn, který je distribuován v ČR obsahuje 90 % metanu a 5 % nehořlavých látek. Dodávaný zemní plyn do sítě, musí mít podle normy ČSN 38 6110, minimálně

85 % metanu. Může maximálně obsahovat 5 % etanu, 7 % propanu, 7 % inertů a 1 % kyslíku. Metan je hořlavý plyn, bez barvy a zápachu a se vzduchem vybuchující. Zemní plyn je k životnímu prostředí velice šetrný a to jak při jeho těžbě, výrobě i spalování. Je to jeden z důvodů nahrazení konvenčních paliv. [41; 55]

Vozidla s provozem na zemní plyn vykazují zhruba o 20 % nižší CO₂ než u benzínu. Tím je snížena tvorba skleníkového plynu. S provozem na zemní plyn jsou také nižší škodliviny oxidu uhelnatého, oxidu dusíku, aldehydy, aromáty a benzén. [61; 62]

Zemní plyn má oktanové číslo 130 a je vyšší než u benzínu (tab. 2). Vyšší oktanové číslo pozitivně ovlivňuje chod motoru a jízdní vlastnosti automobilu.

Tab. 2: Porovnání charakteristik zemního plynu a benzínu [41; 43; 55; 61; 62]

| | Hustota paliva při 15 °C | Výhřevnost paliva | Bod vzplanutí | Bod hoření | Oktanové číslo |
|-------------------|--------------------------|--|---------------|------------|----------------|
| Jednotky - Palivo | [kg.m ⁻³] | [MJ.m ⁻³] - [MJ.kg ⁻¹] | °C | °C | - |
| Zemní plyn | 0,694 | 34,091 | 152 | 650 | 130 |
| Benzín | 725 - 780 | 43,5 | -35 | > 280 | 90 – 100 |

Ve světě už dnes jezdí více než 20 mil. automobilů poháněných zemním plynem. Z toho v ČR jezdí okolo 9 000 automobilů. Pro automobily s tímto pohonem je k dispozici 25 000 čerpacích stanic ve světě a z toho 82 stanic v ČR. Můžeme očekávat, že počet čerpacích stanic neustále poroste a rozšíří se tak jejich síť po ČR. Na obr. 6 je zobrazen počet čerpacích stanic CNG v ČR. Číslo v kroužku znamená počet čerpacích stanic CNG v daném místě a čerpací stanice CNG oranžové barvy je stanice ve výstavbě.



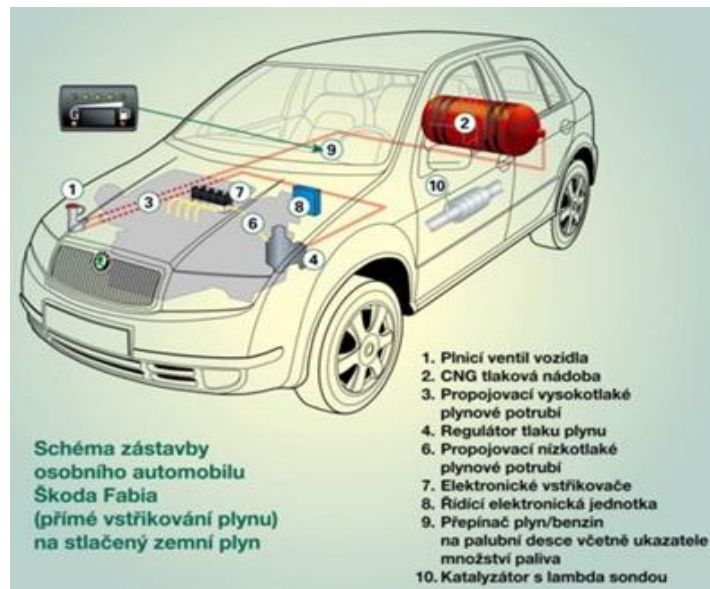
Obr. 6: Síť čerpacích stanic CNG

Zdroj: www.mapy.cz

4.1.2.1 Součásti pohonu na zemní plyn

Schéma systému CNG je vyobrazené na obr. 7. Jsou zde zobrazeny a popsány jednotlivé části systému.

Nejdůležitější jsou plynové nádrže. Zemní plyn je uchováván v nádržích vyrobených z oceli nebo kompozitního materiálu. Nádrže jsou bezpečnější než u benzínu, odolávají úderu kladivem a i střelbě. Jsou vybaveny bezpečnostním uzávěrem, který má za účel v případě překročení stanoveného tlaku nádrží uzavřít. V případě úniku se palivo nerozlije jako u benzínu. Zemní plyn je lehčí než vzduch, takže stoupá ihned vzhůru. U tlakových nádrží je palivo stlačeno pod tlakem 20 MPa a u kriogenních nádrží je to do 1 MPa při teplotě $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 7: Schéma zástavby CNG [55]

4.1.2.2 Výhody a nevýhody LNG/CNG

Výhody

Ekologické a levné palivo, nižší provozní náklady, delší dojezd se dvěma nádržemi, bezpečnější, lehčí než vzduch, lepší zimní starty a vysoce čisté palivo.

Nevýhody

Největším problémem u zemního plynu je jeho dojezdová vzdálenost. Pokud je automobil poháněn pouze na zemní plyn, tak na nádrž o objemu 80 l ujede zhruba 200 až 300 km. Takovéto množství paliva odpovídá zhruba 20 litrům benzínu. Další nevýhoda zemního plynu je malá infrastruktura čerpacích stanic zemního plynu, vyšší náklady na přestavbu a vyšší bezpečnostní opatření. LNG má velké nevýhody v uchovávání plynu za nižších teplot, při delší odstavce vozidla dochází k odparu plynu z nádrže. Další nevýhoda LNG spočívá v nákladnější a složitější technologii než u CNG.

4.1.3 Bioplyn

Bioplyn řadíme mezi plynná paliva a biopaliva.

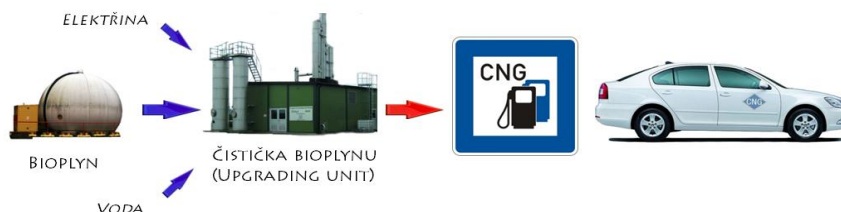
Bioplyn představuje zdroj energie, který má vysoce pozitivní přínos k životnímu prostředí. Bioplyn se vyrábí z obnovitelných zdrojů s využitím solární energie. V praxi se název bioplyn používá pro směs plynů, která vznikla anaerobní fermentací. Je to složitý proces složený z biologických, fyzikálních a chemických procesů bez přístupu vzduchu.

„Biologický rozklad organických látek je složitý vícestupňový proces, na jehož konci působením metanogenních autotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů vzniká bioplyn, který se v ideálním případě skládá ze dvou plynných složek, metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Průběh tohoto procesu ovlivňuje řada dalších procesních a materiálových parametrů, například složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, číslo pH neboli kyselost materiálu, anaerobní (bezokyslíkaté) prostředí, absence inhibičních biochemických látek atd.“ [31]

Kvalitní bioplyn obsahuje dva hlavní plyny. První z nich je metan CH_4 v koncentraci 50 – 75 %. Druhý plyn je oxid uhličitý CO_2 v koncentraci 25 – 40 %. Dalšími plyny v množství 1 – 3 % je sirovodík, vodík a dusík. Bioplyn je také tvořen minoritními složkami. Jejich množství se pohybuje v desetinách objemového procenta. Chemické složení bioplynu je závislé na vstupní surovině a procesu výroby. Bioplyn o obsahu 60 % metanu má výhřevnost $21,53 \text{ MJ.m}^{-3}$, hustotu $1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ a jeho teplota vznícení je 650 – 750 °C. [31; 61; 62]

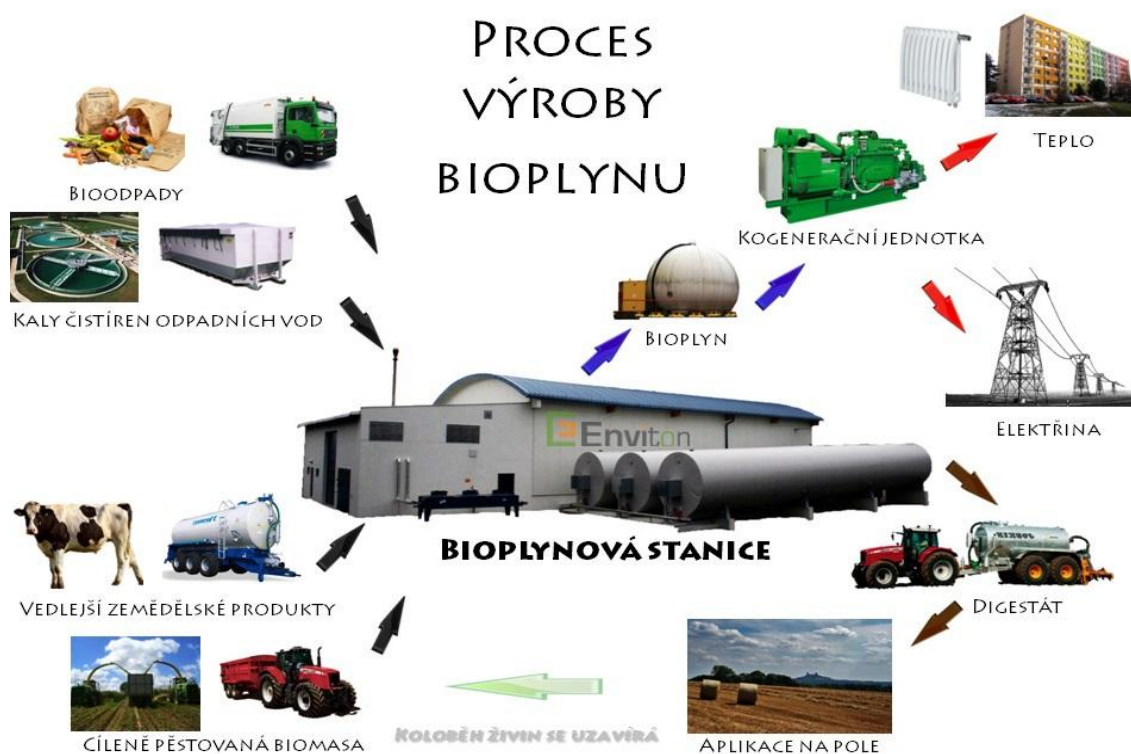
Surovin pro jeho výrobu je mnoho. Důležitou surovinou je zbytková biomasa, která je pro bioplyn tvořena v zemědělství. Výhradně z plodin na poli, odpadem z živočišné výroby a zbytků rostlin. Dále může jít o zeleň, kal z čističky odpadních vod a komunální odpad (z potravinářského průmyslu). Posledním významným zdrojem pro výrobu bioplynu je lesnictví. Bioplyn lze využít i na čistý metan (biometan) při odstranění CO_2 z bioplynu. Biometan lze pak použít k pohonu automobilů na CNG (obr. 8).

Bioplyn lze použít všude, kde je zemní plyn. Surový bioplyn je před použitím potřeba vyčistit. Musí se zbavit nežádoucích složek, jako jsou mechanické nečistoty, voda, H_2S , CO_2 , dusík, kyslík, vyšší uhlovodíky a křemík. Požadavky na jeho vyčištění jsou dány jeho použitím. Při použití bioplynu jako paliva pro automobil, musí odpovídat kvalitou zemnímu plynu. Jeho čištění je však velmi nákladné a zvyšuje tak jeho prodejní cenu. Proto není nutné vytvářet normu pro jeho kvalitu. Na obr. 9 je zobrazen proces výroby bioplynu a jeho konečné využití.



Obr. 8: Využití bioplynu pro provoz automobilů na CNG [14]

„Speciální normou pro bioplyn, jako pohonnou hmotu pro motorová vozidla, je pouze švédská norma SS 15 54 38. Tato norma byla přijata s cílem zajistit, aby plnicí zařízení a vybavení vozidel vyvinutá pro provoz na zemní plyn, bylo možno také využívat pro bioplyn.“ [55]



Obr. 9: Proces výroby bioplynu [14]

Bioplyn může mít několik využití. První z nich je jeho spalování pro výrobu tepla a výrobu elektrické energie (kogenerace). Druhé využití je výroba paliva pro automobily.

Bioplyn v současné době nedokáže z trhu vytlačit fosilní paliva. Jejich postavení je na trhu dominantní.

4.1.4 Výhody a nevýhody bioplynu

Výhody

Nižší emise než u benzínu, nižší náklady na palivo, efektivní využití odpadů a pozitivní k životnímu prostředí.

Nevýhody

Vyšší cena technologických procesů, hluk strojů, zápach při špatném procesu výroby.

4.2 Kapalná paliva

Do kapalných alternativních paliv pro zážehové motory můžeme zahrnout alkoholy a étery. Mezi alkoholy patří etanol, metanol, butanol a bioetanol, biometanol a biobutanol. Do skupiny etherů řadíme ETBE (*Ethyl-terc. butyl éter*) a MTBE (*Methyl terc. butyl éter*). I ethery mohou být vyrobeny z obnovitelných zdrojů. Jedná se pak o bioETBE a bioMTBE vyrobený ze dřeva.

4.2.1 Alkoholy

Alkoholy mají podobné vlastnosti jako konvenční palivo benzín. Alkoholy mají nižší výhřevnost a k jejich spálení se spotřebuje menší množství kyslíku. Je to dáno vázaným kyslíkem v palivu. Vysoké výparné teplo oproti benzínu má příznivý vliv na plnění válců. Část paliva se odpařuje v průběhu plnění, to snižuje teplotu čerstvé směsi a chladí se tak válec a píst motoru. Při použití v zážehových motorech, alkoholy nevyžadují výrazné úpravy motoru. Je pouze nutné zvýšit dávku paliva, protože alkoholy mají menší výhřevnost. Alkoholová paliva pro automobily jsou etanol, metanol a butanol. V tab. 3 může porovnat základní vlastnosti etanolu, metanolu, butanolu a benzínu. [61; 62]

Tab. 3: Porovnání vlastností alkoholů s benzínem [17; 41; 43; 55; 61; 62]

| Vlastnosti paliva | Jednotka | Etanol | Metanol | Butanol | Benzín N95 |
|------------------------|---------------------|---------|---------|---------|------------|
| Hustota paliva (15 °C) | kg.m ⁻³ | 794 | 790 | 809 | 725 – 780 |
| Výhřevnost | MJ.kg ⁻¹ | 26,9 | 21,3 | 29,2 | 43,5 |
| Bod varu | °C | 78 | 64,5 | 118 | 30-210 |
| Zápalné teplo | °C | 425 | 450 | 470 | > 280 |
| Bod vzplanutí | °C | 12 | 11 | 15 | -35 |
| Výparné teplo | kJ.kg ⁻¹ | 920 | 1110 | 430 | 290 |
| Oktanové číslo VM | - | 106-130 | 106 | 94 | 95 |

4.2.1.1 Etanol

Měření v praktické části diplomové práce probíhalo s palivy obsahující etanol (E70 a E32), proto je tomuto palivu věnována samostatná kapitola 5 Bioetanol.

4.2.1.2 Metanol

Metanol (CH_3OH) je bez zápachu a barvy a v přírodě se vyskytuje pouze ojediněle. Je nejdůležitější chemikálií vyráběnou ve světě a v petrochemickém průmyslu. Používá se pro výrobu dimethyléterů, kyseliny octové, formaldehydů a dalších. Může se vyrobit z mnoha surovin. Vyrábí se z fosilních paliv, jako je zemní plyn, uhlí a ropa. Metanol se může vyrobit i z biomasy. V současné době se vědci zaměřují na výrobu biometanolu z biomasy, suchou destilací dřeva. Na výrobu jedné tuny metanolu, jsou zapotřebí zhruba dvě tuny suchého dřeva. Z dvou tun se vytěží asi 550 l metanolu/t dřeva [55]. Výroba metanolu z biomasy je velmi drahá, v porovnání s výrobou ze zemního plynu. Metanol, který je vyráběn z obnovitelných zdrojů, řadíme mezi biopaliva a nazýváme ho biometanolem.

Z metanolu lze také vyrobit benzín, je to však velmi náročný proces s velkou energetickou ztrátou. Proto se benzín z etanolu nevyrábí.

Automobily spalující metanol, se podobají výkonem i jinými charakteristikami automobilům, které spalují benzín. Metanol můžeme použít v čisté podobě, nebo ve směsi s benzínem [62]. Automobily, které dokážou spalovat toto palivo, jsou označovány jako FFV (*Flexible-fuel-vehicle*). Vozidla jsou vybavena snímačem, který zjišťuje množství alkoholu v benzínu. Z naměřené hodnoty řídicí jednotka (*ŘJ*) motoru upravuje dávku paliva

Výhody metanolu

Vyzkoušené výrobní technologie, více vstupních surovin pro výrobu (zemní plyn, uhlí a biomasa), levnější cena metanolu, vyšší oktanové číslo než u benzínu – zhruba 105, vyšší účinnosti motoru dosaženo větší energetickou hustotou paliva. [61; 62]

Nevýhody metanolu

Metanol má obdobné nevýhody jako etanol (rychlejší koroze, špatné studené starty atd.). Aby se zabránilo korozi, je nutné vyrobit palivovou nádrž a palivový systém z nerezové oceli. Nevýhoda metanolu je vysoká toxicita při kontaktu s kůží.

4.2.1.3 Biobutanol

Je to čtyřuhlíkový alkohol získávan z biomasy kvasným procesem. Oproti bioetanolu je u biobutanolu vyšší výhřevnost o cca 30 %. Vyrábí se ze stejných surovin jako etanol. Butanol se používá jako rozpouštědlo pro laky a emaily. Může být také ve směsi

s benzínem jako alternativní palivo. Smíchání s benzínem je v rozmezí 10 až 99 %. Nemusí být ukládán do takových láhví. [2; 54]

„Použití max. povoleného přídatku 10 % obj. biobutanolu v motorových benzinech (dle ČSN EN 228) představuje jeho roční spotřebu ve výši cca 200 tis. t. Zajištění zemědělské produkce pro výrobu tohoto množství biopaliva je z pohledu ČR velmi významné.“ [43]

„Butanol je alkohol, který se může přimíchávat do motorových fosilních paliv v širokém poměru. Spálením v motorech produkuje podstatně méně SO_x, NO_x nebo CO než fosilní kapalná paliva. Emise CO₂ a H₂O nejsou škodliviny, jen se vrací do přírody, ze které byly rostlinami přijaty v době vegetace.“ [54]

V USA byl proveden test tohoto paliva v automobilu na několik tisíc kilometrů. Vozidlo dosahovalo průměrné spotřeby 10 l/100 km a při průběžném měření emisí bylo zjištěno, že emise ve výfukových plynech byly nižší než při spalování benzínu. Emise NO_x byly o cca 27 % nižší a emise CO a uhlovodíku vykazovaly hodnoty o cca 95 % nižší. [54]

V době kdy se snažíme snižovat spotřebu ropy, se začíná uvažovat o využívání biomasy z odpadů. Jen v USA je při zpracování kukuřice cca 10 mil. tun odpadů, které se nevyužívají a zatěžují životní prostředí. Proto je zpracování těchto surovin velmi důležité. Takto levný zdroj je vhodný pro výrobu butanolu. Energie, kterou vkládáme do výroby butanolu, musí být nižší než energie, kterou z výroby dostaneme. [54]

Butanol je také vyráběn fermentací zrnin průmyslovou technologií (ABE). Dříve se vyráběl chemickou cestou z odpadů, které vznikají zpracováním ropy. Během fermentace, za pomoci mikroorganismů, vznikají kvasné produkty. [54]

„Při běžné kvasné technologii zpracování glukózy (ABE) je podíl butanolu v konečném produktu velmi nízký, většinou do 15 %, výjimečně kolem 25 %. Rozsah jeho výroby je limitován biologickým omezením, protože butanol i při nízké koncentraci (1,5 až 2 %) v roztoku, inhibuje růst a činnost mikroorganismů a zastavuje celý fermentační proces.“ [54]

Nově vyšlechtěné kvasinky *Clostridium acetobutylicum* zajišťují vyšší produkci butanolu s 40 – 50% výtěžností z glukózy. Jeden mikrob přemění glukózu na vodík s kyselinou máselnou a druhý mikrob kyselinu máselnou mění na butanol. Za pomoci těchto kvasinek je proces výroby butanolu efektivnější než metoda ABE. Butanol obsa-

huje velké množství vodíku a je vhodný pro jeho výrobu. Butanol mnohem méně napadá korozivně nádrž a palivový systém a oproti etanolu není hydrokopický. [54]

4.2.2 Ethers

Jsou to kyslíkaté deriváty uhlovodíků. S atomem kyslíky jsou spojeny dva uhlovodíky. Tyto uhlovodíky mohou být stejné nebo různé. Ethers můžeme použít jako složku benzínu, kdy zvyšují jeho oktanové číslo, zlepšují spalovací proces a snižují tak emise uhlovodíků a CO. U vznětových motorů snižují ve výfukových plynech pevné částice. [25; 44; 55]

„Vysoké oktanové číslo éterů umožňuje reformulaci benzínu, tj. snížení obsahu aromatů.“ [55]

4.2.2.1 MTBE

MTBE (*Methyl-terc.-butyl ether*, $C_5H_{12}O$) je bezbarvá těkavá hořlavina s terpenickým zápachem. MTBE je u benzínu žádanou přísadou a používá se výhradně na zvýšení oktanového čísla benzínu. Je velmi dobře rozpustný ve vodě, alkoholech, éterech a dobře se smíchává s benzínem. Ve vodě je až 30× více rozpustný než v uhlovodících a čistý MTBE je až dvakrát těkavější jak benzín. [63; 64]

„Jejich výhodou je větší výhřevnost, menší tlak par, vysoké oktanové číslo a ve srovnání s alkoholy se s benzínem lépe mísí a vzniklá směs je stabilní.“ [55]

„Na počátku 80. let se ve světě začal přidávat do benzínu místo tetraethylolova methylterc.butylether (MTBE). Do poloviny 90. let 20. stol. bylo tetraethylolovo definitivně vyřazeno z oběhu v USA a vyspělých státech Evropy. V České republice je MTBE přidáváno do bezolovnatých benzinů od roku 2000. Využití MTBE jako oxidantu pohonných hmot vedle dalších sloučenin (ethylterc.butylether (ETBE), terc.amylmethylether (TAME) a diisopropylether (DIPE)) se stalo velmi oblíbené pro svou nízkou cenu a výbornou rozpustnost v benzínu. Běžně používaná koncentrace MTBE v bezolovnatých benzinech se pohybuje kolem 10 – 15 % obj. Vedle zvýšení oktanového čísla benzínu zároveň snižuje emise CO a O_3 .“ [63]

4.2.2.2 ETBE

Ethyl-terc. butyl éter je přísada do benzínu pro zvýšení podílu biosložek. ETBE by měl nahradit stávající MTBE. ETBE se vyrábí reakcí etanolu s nenasycenými plynnými uhlovodíky isobutenu za přítomnosti kyselého katalyzátoru. [46; 55]

Metanol pro výrobu MTBE je hlavně získáván ze zemního plynu. V tomto má ETBE velkou výhodu, protože etanol je vyráběn výhradně ze zemědělských produktů. Jedná se pak o bioetanol. ETBE je ze 47 % složen etanolem. [33]. Jeho výroba je tak z obnovitelných zdrojů. ETBE má vysoké oktanové číslo, větší výhřevnost, zlepšuje vlastnosti spalování a s benzínem se může neomezeně míchat. ETBE má výhodné fyzikální vlastnosti oproti MTBE. Má vyšší tlak par a vyšší bod varu. Tyto vlastnosti jsou vhodné pro přísné limity na těkavost benzínů. Nevýhodou ETBE je vysoká nákupní cena bezvodého etanolu. Použití bezvodého etanolu je z důvodů ochrany katalyzátorů v automobilech. Vyšší obsah vody způsobuje jejich poškození. Pokud se smíchá benzín s ETBE, tak je tato směs méně agresivní na potrubí a motor než etanol. V tab. 4 můžeme porovnat základní vlastnosti ETBE s etanolem a benzínem. [41; 55]

Tab. 4: Porovnání základní charakteristiky etanolu, ETBE a benzínu [41; 45; 55; 61]

| | Okatanové číslo | Hustota paliva (15°C) kg.m ⁻³ | Výhřevnost MJ.kg ⁻¹ | Bod varu °C | Zápalná teplota °C | Bod vzplanutí °C |
|---------------|-----------------|---|-----------------------------------|----------------|-----------------------|---------------------|
| ETBE | 118 | 740 | 36 | 72,8 | 400 | < -15 |
| Etanol | 109 | 800 | 26,4 | 78 | 425 | 12 |
| Benzín | 90 – 100 | 725 - 780 | 43,5 | 35 – 210 | > 280 | -35 |

5 Bioethanol

Etanol (*EtOH*) se v přírodě vyskytuje jen málo. Dnes už etanol používáme jako náhradu za benzín. Je to nejstarší alternativní palivo.

„Počátek využívání etanolu, jako paliva pro zážehové motory, se datuje na konec 19. století, kdy byl nedostatek benzínu a vysoká produkce lihu. V letech 1926 až 1936 bylo v Československu zákonem stanoveno povinné přidávání 20 % ethanolu do směsi s benzínem. V meziválečném období se také, díky nedostatku benzínu, na trhu objevilo i palivo zvané „Dynakol“ tvořené 50 % ethanolu, 30 % benzenu a 20 % benzínu. Avšak s růstem efektivity těžby ropy počátkem 20. století došlo k postupnému nahrazování lihu benzínem. Používání lihobenzinových směsí zaniklo v padesátých letech v důsled-

ku levnější výroby benzínu. Lihobenzínové směsi se začínají v Evropské unii znovu objevovat začátkem 21. století zavedením biopalivového programu. V současné době je od 1. 6. 2010 v České republice zákonem č. 172/2010 Sb. stanoveno povinné přimíchávání 4,1 % objemových jednotek bioetanolu do automobilového benzínu.“ [48]

Zážehové motory provozovány výhradně na etanol jsou od benzínových odlišné. Mají vyšší kompresní poměr a jiné válce s odlišným tvarem spalovacího prostoru. Při spalování paliva s etanolem jsou zhruba o 5 % nižší emise výfukových plynů CO₂. U spalování paliva E85 je mírně nižší CO, NO_x, mírně se zvýší HC a mnohonásobně se zvýší tvorba aldehydů. Jejich množství lze až o 80 % snížit za pomoci katalyzátoru. Při použití paliva E10 se škodliviny CO ve výfukových plynech sníží o 25 %. [23; 32; 36; 62]

Výhody etanolu ve spalovacích motorech

Mezi výhody patří dokonalejší spalování, vyšší výkon a točivý moment motoru, vyšší oktanové číslo a nižší emise ve výfukových plynech.

Nevýhody etanolu ve spalovacích motorech

Nevýhody spočívají v rychlejší korozi. Etanol odstraňuje olej a ničí gumová těsnění a plastické hmoty. Palivové čerpadlo, potrubí a nádrž jsou vyrobeny z materiálu odolného vůči korozi. Tuto negativní vlastnost bioetanolu lze odstranit za pomoci inhibitorů koroze přidáním do paliva. Další nevýhoda je v zápalné teplotě a nižší výhřevnosti. Benzín má zápalné teplo okolo 280 °C a etanol cca 425 °C. Tento rozdíl teplot zapříčiní horší startovatelnost za nižších teplot. S nižší výhřevností paliva se musí zvýšit jeho dávka a tím vzroste i celková spotřeba paliva. [55; 62]

5.1 Výroba bioethanolu

Bioetanol lze vyrobit fermentací cukru.

„Kvasný neboli fermentační způsob výroby bioethanolu z biomasy je založen na působení enzymů (bílkovinných katalyzátorů) mikrobiální buňky (většinou buněk některých kvasinek) v procesu, kterému se říká lihové kvašení. Jde o proces, který probíhá převážně bez přístupu vzduchu (anaerobně), i když nejde v případě kvasinek o striktně anaerobní podmínky.“ [55]

„Pro správný průběh kvašení je třeba udržovat vhodné pH (4 – 6) a vhodnou teplotu 27 – 32 °C. Za optimálních podmínek po uplynutí 24 – 36 hodin kvasného procesu lze ve fermentoru dosáhnout hraniční koncentrace etanolu 12 – 13 % obj.“ [55]

Během výroby bioetanolu mohou vznikat vedlejší produkty, které sniží množství etanolu a brání v destilačním dělení etanolu. Látky ovlivňující výrobu jsou vyšší alkoholy, estery, organické kyseliny, glycerol a akrolein. Tyto látky je nutné odstranit při rafinaci z kvasného etanolu.

Pokud bioetanol vyrábíme pro automobily, jako pohonnou hmotu, je důležité rafinací odstranit vedlejší produkty z fermentace. Tyto látky mohou negativně působit na palivový systém a na proces odvodňování lihu. Podle normy ČSN EN 65 6511 musí mít etanol určitou kvalitu. Před denaturací musí obsahovat minimálně 99,7 % etanolu a obsah vody nesmí překročit 0,39 %. Takové palivo je pak určené do automobilů. [38; 55]

5.2 Suroviny pro výrobu bioetanolu

Bioetanol je produkt lihového kvašení z produktů zemědělské výroby. Kvašení probíhá u surovin, které obsahují cukr nebo látky, které se převedou na cukr (škrob a celulóza). Mezi zemědělské plodiny obsahující cukry můžeme zařadit cukrovou řepu a cukrovou třtinu. Do škrobnatých plodin patří např. brambory, kukuřice, triticales (kříženec pšenice a žita), pšenice a ječmen. Bioetanol lze vyrábět i z polysacharidu inulin, který je obsažen v hlízách čekanky a topinamburu. Štěpení škrobu je složitější než štěpení inulinu.

Větší pozornost je dnes věnována výrobě bioetanolu z biomasy. Vstupní surovinou může být dřevěný odpad (dřevěné piliny a štěpky, odpad z výroby papíru a celulózy), průmyslový a komunální odpad, odpady a různé zbytky v zemědělské výrobě.

Výroba etanolu ze zemědělských produktů může mít i svoji nevýhodu. Pokud by výroba etanolu ze zemědělských produktů nahradila velké množství benzínu, mohla by tato výroba metanolu vést ke konkurenci potravinářskému průmyslu. Netýká se to výroby etanolu z biomasy dřeva a odpadní biomasy. [21; 55]

5.3 Bioetanol v České republice a ve Světě

„Počátek využívání biopaliv ve světě se datuje již do období před 2. světovou válkou. Znovu se začala věnovat pozornost biomase jako zdroji energie od počátku tzv. první ropné krize, která vypukla v roce 1973. V tomto období byl zaveden program pro

výrobu a využití bioetanolu v Brazílii a následně v 80. letech i v USA. Nejdéle je jako pohonná hmota v silniční dopravě využíván bioetanol a to v Brazílii již od roku 1973.“ [55]

Bioetanol se začal vyrábět v České republice až v roce 2006 v lihovaru Agroetanol TTD Dobruška. Česká republika se v letech 2007 a 2008 umístila ve výrobě bioetanolu na devátém místě v EU-27.

V České republice je podle směrnice 2003/96/ES, která byla transformována za pomoci programu podpory biopaliv v dopravě, možné biopaliva a vysokoprocentní směsi daňově zvýhodnit.

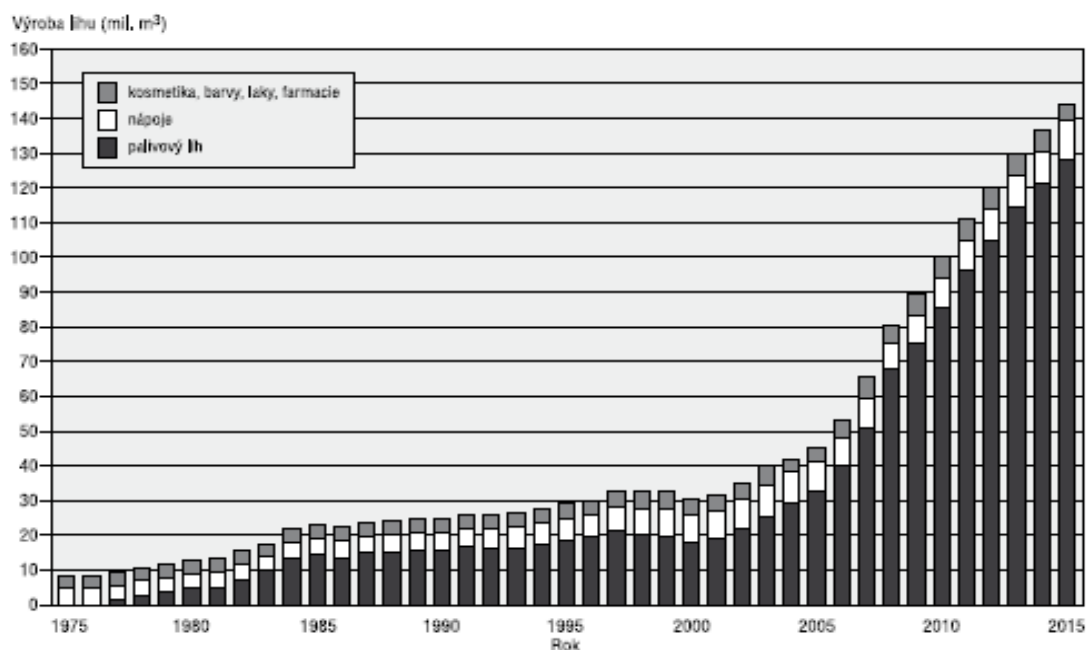
„Po notifikaci orgány EU je na základě tohoto programu možné čistá biopaliva osvobodit od spotřební daně, u vysokoprocentních směsí s obsahem biosložky větším než 5 % pak odpočtem spotřební daně z podílu biosložky. Normy ČSN EN 590 a ČSN EN 228 dovolují přimíchávání biosložky do výše 5 % bez nutné úpravy palivového systému vozidel. Při provozu vozidel tak nevznikají dodatečné náklady, proto tato paliva nejsou nijak daňově zvýhodňována.“ [28]

Výroba bioetanolu je v ČR ovlivněna několika faktory. Prvním z nich je levný líh ze zahraničí, který má velký vliv na ceny bioetanolu v ČR a ovlivňuje jeho výrobu a cenu vstupních surovin. Nejvýznamnějšími faktory, které ovlivňují výrobu, jsou špatná marketingová podpora a přísné kontroly státních orgánů.

„Navíc všichni domácí producenti musí jistit své daňové sklady, a to částkou 40 milionů korun, veškerý líh určený pro přimíchávání na českém trhu musí být denaturován vícesložkovou denaturační směsí a líh, který je exportován, musí být zajištěn po celou dobu přepravy složenou bankovní zárukou (množství expedovaného lihu krát spotřební daň, která činí 265 Kč/l).“ [50]

„Produkce bioetanolu určeného pro využití jako motorové palivo v celosvětovém měřítku v posledních letech rychle roste. Rozvoj výroby a obchodu s palivovým bioetanolem je velmi úzce spjat s cukrovarnickým průmyslem. Využití lihu jako motorového paliva stále stoupá – před rokem 2000 se z celkem vyrobeného lihu spotřebovalo 41 % v nápojích, kosmetice a v chemickém průmyslu.“ [20]

Během 10 let se podíl snížil na 16 % a spotřeba lihu se pro daný sortiment zastavila (obr. 10).



Obr. 10: Světová výroba lihu (od roku 2009 je to odhad) [20]

5.4 Paliva obsahující bioetanol

V současné době, se můžeme setkat na čerpacích stanicích v České republice, s palivou o různém obsahu etanolu v benzínu. Jedná se o paliva E5, E10 a E85.

5.4.1 E5

Palivo E5 můžeme natankovat na čerpacích stanicích v České republice, aniž bychom o tom věděli. Podle normy ČSN EN 228 se u nás může do benzínu přidávat malý podíl etanolu. Benzín s tímto označením může mít max. 0 – 5 % objemových etanolu.

V roce 2009 byl návrh na zvýšení obsahu etanolu z 5 % na max. 10 %. Do roku 2018 se má dodávat na trh palivo E5. Dále by palivo E5 nahradilo E10. Starší automobily nejsou ale upravené pro toto palivo. Etanol je totiž velice agresivní na pryžové části motoru. Takto malé množství etanolu nemá podle výrobců automobilů žádné dopady na spotřebu a výkon motoru. [49]

5.4.2 E10

V dnešní době je velmi důležité, aby se plnily veškeré cíle Evropské unie v oblasti bio-paliv. Pro jejich splnění se na čerpacích stanicích v České republice bude tankovat palivo E10. Toto palivo se již používá v Německu od začátku roku 2011. [11]

„Jde v podstatě o běžný benzin BA95, do kterého se bude přimíchávat až 10 % bioetanolu.“ [11]

„Přítomnost 10 % bioetanolu nemá na vlastnosti benzínu (až na vyšší obsah kyslíkatých látek) žádné praktické dopady. I přesto, že výhřevnost bioetanolu je nižší než benzínu, nemá jeho 10% přítomnost žádné významné dopady ani na spotřebu, ani na výkon, případně na horší startovatelnost vozidla.“ [11]

5.4.3 E85

Palivo E85 je etanolové palivo, které je tvořeno 85 % etanolu a 15 % benzínu Natural 95. Na trhu jsou dvě směsi paliva E85 (letní a zimní). V letní směsi je až 85 % etanolu a v zimní směsi je minimálně 70 % etanolu.

E85 zvyšuje výkon a točivý moment motoru. Palivo E85 obsahuje 30 % kyslíku a benzin pouze 4 %. Dosahuje se tak nižších emisí ve výfukových plynech. E85 má 4× větší schopnost ochlazení při odpařování. Do spalovacího prostoru se tak nasává větší množství vzduchu. Z důvodu nízké výhřevnosti paliva E85 vzroste jeho spotřeba. [24; 34]

Palivo E85 se může používat ve speciálních vozidlech. Jedná se o vozidla s motorem FFV (Flexible-fuel-vehicle).

„Motory pro FFV umožňují provoz jak na benzin, tak na etylalkoholové palivo s různým podílem ethylalkoholu (až do 85 %). Motor může mít vysoký kompresní poměr, vyhovující i pro benzin. Palivový systém je dimenzován pro provoz na etylalkoholové palivo a přizpůsoben agresivnímu působení ethylalkoholu na některé součástky. Podle koncentrace kyslíku ve výfukových plynech získává řídicí jednotka informaci o složení paliva (obsahu ethylalkoholu) a tomu přizpůsobí seřizovací parametry, tj. dávkování paliva, předstih zážehu aj.“ [36]

Výhoda oproti jiným alternativním palivům je, že se nemusí přidávat žádná nádrž navíc a není to tak radikální zásah do vozidla. Automobily s pohonem na etanol mohou i do podzemních garáží. Etanol má i příznivý vliv na motor, lambda sondu a katalyzátor. Při spalování etanolu se nevytvoří karbon, který by se mohl v motoru a ve výfukovém potrubí usazovat.

6 EMISE VÝFUKOVÝCH PLYNŮ U ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ

„Aby se snížilo zatížení životního prostředí, je nutné snížit obsah škodlivých látek ve výfukových plynech zážehového motoru, například pomocí katalyzátoru. Všechna opatření k redukci emisí škodlivých látek podle různých zákonných norem směřují k tomu, aby s co možná nejmenší spotřebou paliva bylo dosaženo vysokých jízdních výkonů, příznivých vlastností a minimum emisí škodlivých látek.“ [62]

Škodlivé emise z výfukových plynů můžeme rozdělit do čtyř základních skupin. První skupinou jsou emise, které jsou přímo limitovány normou (oxid uhelnatý CO, oxid dusíku NO_x a uhlovodík HC). Druhou skupinou jsou emise, které nejsou přímo limitovány (oxid uhličitý a oxid síry). Třetí skupina jsou organické těkavé látky (formaldehyd, benzen, akrolein a butadien). Poslední skupinou jsou organické netěkavé látky (vyšší aldehydy, polyaromatické uhlovodíky a nitroderiváty). [41]

Emisní limity se neustále snižují proto se ve vývoji motorů a složení paliv těmito změnám snaží výrobci přizpůsobit. Odpovědnost za dodržení těchto nároků mají výrobci motorů. V Evropské unii platí emisní norma Euro. Tato norma stanovuje limitní hodnoty emisí výfukových plynů. Tyto hodnoty jsou uváděny v gramech na 1 ujetý kilometr. V tab. 5 jsou vypsány jednotlivé třídy s maximálními emisními limity, které mohou zážehové motory vyprodukovat. Norma Euro 6 je platná od 1. září 2014. Nová norma Euro 7 je plánovaná na rok 2017 nebo 2018. Některé automobilky už mají motory, které splňují emisní normu Euro 7.

Tab. 5: Emisní limity zážehových motorů [52]

| Rok/norma | | CO (g/km) | NO _x (g/km) | HC + NO _x (g/km) | HC (g/km) |
|-----------|-----|--------------|---------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1992 | I | 3,16 | - | 1,13 | - |
| 1996 | II | 2,2 | - | 0,5 | - |
| 2000 | III | 2,3 | 0,15 | - | 0,2 |
| 2005 | IV | 1 | 0,08 | - | 0,1 |
| 2009 | V | 1 | 0,06 | - | 0,1 |
| 2014 | VI | 1 | 0,06 | - | 0,1 |

Množství škodlivých emisí, které automobily produkují je závislé na konstrukci motoru (kompresní poměr, tvar spalovacího prostoru, poloha zapalovací svíčky, časování ventilů a uspořádání sacího systému), jeho provozních podmínkách (zatížení motoru a rychlost vozidla), na složení paliva se vzduchem a chemického složení paliva.

Nedokonalým spalováním vznikají škodlivé emise CO a HC. Vznikají při přebytku kyslíku a vysokých teplotách, jsou oxidy dusíku. Ve výfukových plynech se nacházejí v menší míře než CO_2 a H_2O . I malé množství má negativní vliv na ovzduší.

6.1 Emise zážehových motorů

6.1.1 CO

„Oxid uhelnatý (CO) vzniká, když pro nedostatek kyslíku nedochází k úplnému shoření paliva, tj. k přeměně na CO_2 a H_2O . Velikost emisí CO je tedy zcela závislá na složení směsi, které je dáno poměrem vzduchu a paliva. I při přebytku vzduchu vzniká ve výfukových plynech koncentrace CO, pokud je složení směsi ve spalovacím prostoru nehomogenní, nebo její složení cyklus od cyklu kolísá.“ [23]

6.1.2 CO_2

Oxid uhličitý CO_2 nemá vliv na naše zdraví, proto není hodnocen jako škodlivý plyn. Je výsledkem kvalitní oxidace a je přítomen ve spalínách pouze v důsledku dokonale uskutečněného spalovacího procesu. V současnosti není oxid uhličitý žádnou normou limitován.

6.1.3 NO_x

„Emise oxidů dusíku (NO_x) jsou silně závislé na teplotě a tlaku ve spalovacím prostoru a vznikají oxidací atmosférického dusíku obsaženého ve spalovacím vzduchu. Maximální teplota a doba jejího působení mají rozhodující vliv na koncentraci oxidu dusnatého (NO), který se rychle okysličuje na oxid dusičitý (NO_2). V malém množství vzniká i oxid dusný (N_2O). Tyto oxidy jsou souhrnně označovány NO_x .“ [23]

6.1.4 HC

Nespálené uhlovodíky se vytváří při nedostatku vzduchu, kdy nastává částečné nebo neúplné spálení paliva. Další příčinou vzniku HC je vynechaný zážeh, zhasnutí hořící směsi (při nízké teplotě v blízkosti chladnější stěny válce a malého elektrického výboje pro zážeh směsi) a nerovnoměrně rozvřená směs ve spalovacím prostoru.

„Emise CO, HC a NO_x jsou někdy označovány souhrnným názvem plynné emise. Koncentrace jednotlivých složek těchto škodlivin závisí zejména na kvalitě spalované směsi (bohatosti, tj. hodnotě λ a povaze směsi, tj. homogenní nebo heterogenní).“ [9]

7 VLASTNÍ PRÁCE

7.1 Cíl práce

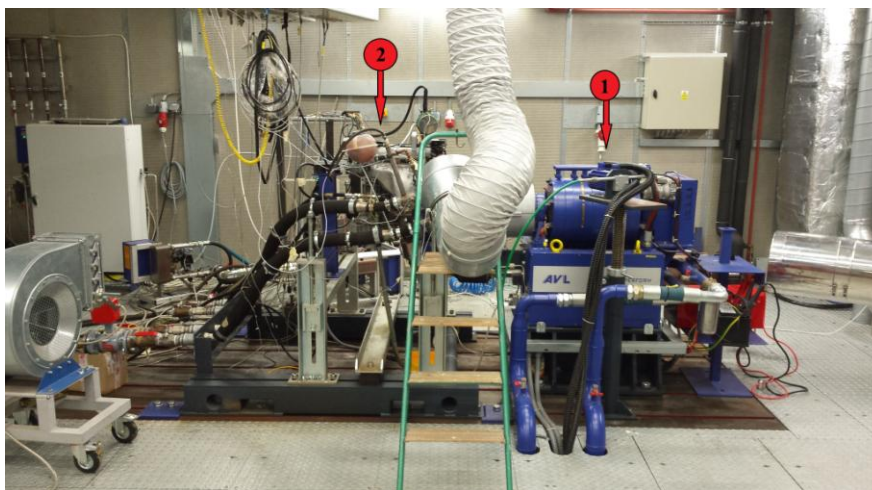
V současné době je rozšířeným alternativním palivem, pro zážehové motory, z obnovitelných zdrojů etanol. Palivo, s vyšším množstvím etanolu, které lze zakoupit na čerpacích stanicích je E85. Množství etanolu v benzínu je dáno ročním obdobím (letní a zimní směs). Zastoupení etanolu v benzínu může být 70 – 85 %. S rozšiřujícím se počtem čerpacích stanic s palivem E85, se zajímá mnoho řidičů, zda mohou palivo E85 natankovat do svých automobilů, jaký to bude mít vliv na výkon a točivý moment motoru, jaká bude spotřeba paliva a emise výfukových plynů.

Cílem praktické části diplomové práce je měření, kdy se porovná vliv různých paliv (N95, E85 a E40) na parametry zážehového motoru Škoda 1.4 MPI 16 V (AUB). Porovnávané parametry, jsou vstřikovaná dávka paliva, výkon a točivý moment motoru, spotřeba paliva ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{g}\cdot\text{kW}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{l}\cdot\text{h}^{-1}$), teplota výfukových plynů, celková účinnost motoru a energie dodávaná v palivu.

Výsledky praktické části objasní vliv paliva E85 a E40 (směsi paliva N95 a E85) na parametry zážehového motoru. Paliva jsou v práci dále popisována podle obsahu etanolu v benzínu (E70 a E32).

7.2 Popis motorové zkušebny

Měření bylo realizováno v motorové zkušebně v laboratoři Ústavu techniky a automobilové dopravy na Mendelově univerzitě v Brně (obr. 11).



Obr. 11: 1 – dynamometr AVL Alpha 240, 2 – zkoušený motor Škoda 1.4 MPI 16V

Pro zajištění opakovatelnosti měření, dodržení teplotních podmínek při namáhání motoru, jsou součástí zkušebny další zařízení: kondice chladicí kapaliny (obr. 12) a oleje motoru (obr. 13) s regulací chladícího media s přesností $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. 12: Kondice chladicí kapaliny



Obr. 13: Kondice motorového oleje

Zkušebna je vybavena výkonnou vzduchotechnikou, zajišťující konstantní teplotu ve zkušební kobce. Součástí vzduchotechniky je klimatizační jednotka s chladícím výkonem 50 kW. Celý systém vzduchotechniky dokáže přivádět vzduch o definované konstantní teplotě.

Ke zkušebně patří rozvody paliva (obr. 14) se čtyřmi nádržemi pro různá paliva (obr. 15). Nádrže musí být z důvodů bezpečnosti mimo zkušební místnost, kde se nachází i systém pro plnění palivových nádrží (obr. 16).



Obr. 14: Rozvody paliva



Obr. 15: Palivové nádrže



Obr. 16: Čerpadla pro plnění nádrží

System se čtyřmi nádržemi lze využít pro zkoušky na jednom motoru s různým palivem. Je tak docíleno méně komplikované manipulace s palivy a nádrže se nemusí vypouštět, vyplachovat a nehrozí tak vzájemná kontaminace použitých paliv. Na konci palivových rozvodů je výkonné palivové čerpadlo (obr. 17) o tlaku až 1 MPa a průtoku až 300 l/hod.



Obr. 17: Palivové čerpadlo

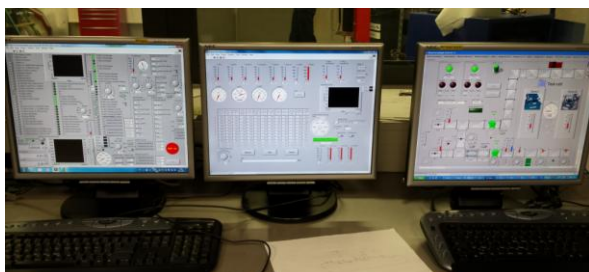
Motor s dynamometrem je upevněn k základové desce, která je položena na vavcích, do kterých je přiváděn tlak vzduchu. Zkušebna je také opatřena protipožární ochranou s havarijní signalizací, vzduchotechnikou odsávající výfukové plyny, rozvody elektroinstalace motoru a měřených veličin.

Motor, dynamometr a další systémy jsou ovládány z vedlejší místnosti (obr. 18), která se nazývá velín. Velín je od zkušební místnosti z důvodů bezpečnosti a snížení hluku oddělen šesticentimetrovým sklem.



Obr. 18: Velín

Nachází se zde výpočetní technika určená k ovládání veškerých systémů a ukládání měřených parametrů motoru. Záznam parametrů a ovládání zkušebny je prováděn počítači s programem vytvořeným v LabView 2011 (obr. 19). Programovatelnou řídicí jednotku, dále jen ŘJ, Magneti Marelli SRA-E (obr. 20) byla nahrazena sériová řídicí jednotka motoru. Za pomoci této ŘJ lze upravovat palivové a předstihové mapy. Programovatelná ŘJ může obsahovat více palivových map pro různá paliva.



Obr. 19: Masky pro ovládání zkušebny motoru Obr. 20: ŘJ Magneti Marelli SRA-E

7.2.1 Charakteristika dynamometru

Motor byl zatěžován elektrický vířivým dynamometrem od firmy AVL. Parametry dynamometru jsou uvedeny v tab. 6. Pomocí vířivého dynamometru s vestavěným indukčním snímačem se měří točivý moment a otáčky motoru.

Tab. 6: Parametry vířivého dynamometru [65]

| Parametry | Specifikace |
|-------------------------|---------------------------|
| Typ dynamometru | Elektrický vířivý |
| Výrobce | AVL |
| Označení | AVL DynoPerform Alpha 240 |
| Max. výkon | 240 kW |
| Max. točivý moment | 600 Nm |
| Max. otáčky | 10 000 min ⁻¹ |
| Přesnost měření otáček | ± 1 min ⁻¹ |
| Přesnost měření momentu | ± 0,2 % |

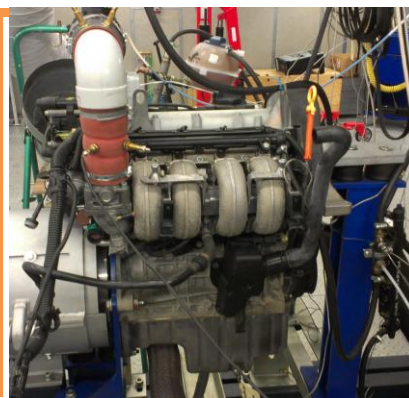


7.2.2 Charakteristika motoru

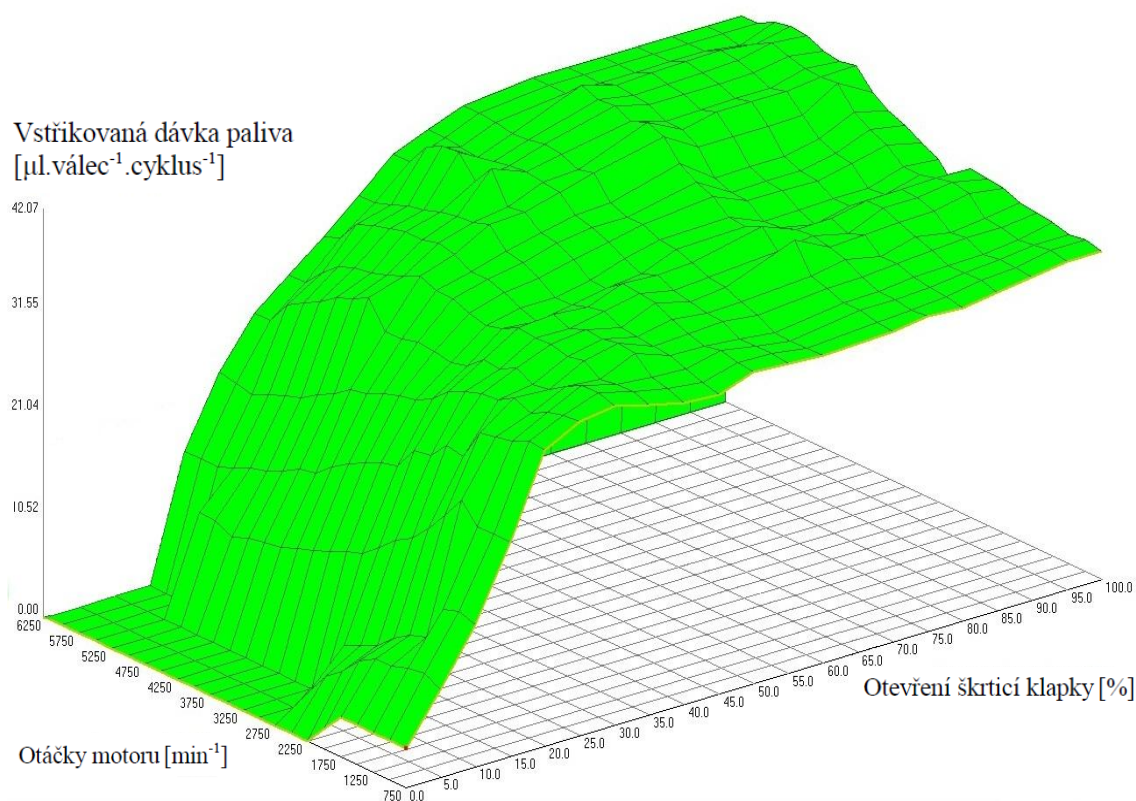
Pro porovnání měřených paliv je v motorové zkušebně umístěn zážehový čtyřválcový motor značky Škoda. Jeho parametry jsou v tab. 7. Oproti sériovému motoru, je z motoru odstraněn třicestný katalyzátor, alternátor, čerpadlo servořízení a kompresoru klimatizace. Do sacího potrubí je připojen MAF (hmotnostní průtokoměr nasávaného vzduchu). Motor s označením AUB se používal ve vozech Škoda Fabia, Seat Ibiza a Cordoba a Volkswagen Polo.

Tab. 7: Technické parametry zkoušeného motoru [65]

| Parametry | Specifikace |
|-------------------------|------------------------------------|
| Výrobce | Škoda Auto |
| Typ motoru | AUB |
| Zdvihový objem | 1 390 cm |
| Vrtání x zdvih | 76,0 x 75,6 mm |
| Kompresní poměr | 10 |
| Počet ventilů na válc | 4 |
| Palivo | Natural 95 |
| Maximální výkon | 74 kW při 6 000 min ⁻¹ |
| Maximální točivý moment | 126 Nm při 4 400 min ⁻¹ |



Na obrázku 21 je palivová mapa určená pro vstřikovanou dávku paliva při spalování benzínu N95. Při spalování paliva E70 a E32, se palivová mapa manuálně neupravuje. Řídící jednotka motoru si vstřikovanou dávku paliva upraví podle automatické regulace. Dávku paliva upraví tak, aby λ byla co nejbližší 1. Vstřikovací tlak paliv bude konstantní a to 0,5 MPa.



Obr. 21: Palivová mapa vstřikované dávky paliva při spalování benzínu N95

7.3 Metodika měření

Měření bylo provedeno se třemi druhy paliva na motoru Škoda 1.4 16 V (AUB). První měření proběhlo na palivo N95. Druhé měření se provedlo s palivem E70, které obsahovalo 70 % etanolu a 30% benzínu. Jednalo se o zimní směs, která má vyšší podíl benzínu než letní směs, kvůli studeným startům motoru. Poslední měření bylo s palivem E32. Byla to připravená směs N95 a E70 s výsledným obsahem etanolu 32 %.

7.3.1 Příprava měřicí zkušebny

Před zahájením měření, bylo zapotřebí provést kontrolu na zkoušeném motoru. Provedla se kontrola připevnění pevných částí a připojení všech snímačů motoru, kontrola přívodu paliva, oleje a chladicí kapaliny. K výfukovému potrubí se nasměroval ventilátor odsávající výfukové spaliny z motoru. Na závěr byla provedena vizuální kontrola celého měřicího zařízení.

7.3.2 Atmosférické podmínky při měření

V tab. 8 jsou uvedené hodnoty atmosférických podmínek, které byly zjištěny před začátkem měření na zkušebně motoru.

Tab. 8: Atmosférické podmínky na zkušebně motoru

| Parametry | Jednotka | Hodnota |
|-------------------|----------|---------|
| Relativní vlhkost | 42 | % |
| Teplota vzduchu | 20 | °C |
| Barometrický tlak | 99,8 | kPa |

Naměřené hodnoty nebyly korigovány podle normy ČSN 30 2008. Měření každého paliva probíhalo v relativně krátkém čase, kdy se atmosférické podmínky výrazně neměnily a výsledky sloužily pouze pro vzájemné porovnání měřených paliv.

7.3.3 Postup měření

Motor se po nastartování zahřál s provozními kapalinami na provozní teplotu (olej 80 °C a chladicí kapalina 90 °C). Po jeho zahřátí, byla otevřena škrticí klapka na hodnotu 100 % a zůstala tak otevřená v celém průběhu měření na všechna tři paliva.

Otáčky motoru pro všechna tři paliva začínaly na 1 750 min⁻¹ a pokračovaly až do 5 000 min⁻¹. Otáčky se vždy zvyšovaly o 250 min⁻¹ a bylo tak provedeno 14 měření pro každé palivo. Měření všech hodnot probíhalo následujícím způsobem: na řídicím panelu

se zadaly měřené otáčky motoru s jejich deseti vteřinovým ustálením. Po ustálení otáček byl spuštěn záznam dat, který probíhal 10 s. Jejich uložená, průměrová hodnota vychází z hodnot naměřených ve výše uvedeném čase.

Na konci měření daného rozsahu otáček se vypnul motor a palivo se vyměnilo za jiné, pro nové měření. Motor se během výměny paliva dochlazoval přidavným ventilátorem. U palivového systému motoru se odpojil přívod paliva z nádrže a palivo v potrubí se za pomoci čerpadla odčerpalo do sudu s daným palivem. Před vypouštěním potrubí se odebral z palivové lišty vzorek paliva, který sloužil pro určení jeho typu. Po ustálení vzorků na stejnou teplotu se změřila jejich hustota a index lomu za pomoci digitálního refraktometru ATAGO PAL-RI (obr. 22). Za pomoci indexu lomu se stanovil obsah etanolu v jednotlivých palivech [65]. V tab. 9 jsou výsledky měřených paliv. Na základě koncentrací zjištěných refrakcí se za pomoci trojčlenky vypočítala výhřevnost použitých paliv, z výhřevnosti benzínu a lihu [41].

Po odčerpání paliva se motor nastartoval a nechal běžet do doby, kdy se spotřebovalo veškeré palivo v palivovém systému. Potrubí se poté propláchno jiným typem paliva a odčerpalo zpět do sudu. Po propláchnutí se spojil palivový systém motoru s přívodem paliva z nádrže, motor se nastartoval a nechal zahřát na provozní teplotu.

Při přechodu z paliva N95 na E70 se zvyšoval předstih o 4° a při přechodu z paliva E70 na E32 se předstih snižoval o 2° , oproti E70. Stanovení změny předstihu bylo provedeno na základě předešlých měření paliv N95 a E85 [65]. Pro palivo E40 se předstih stanovil poloviční, než byl u E70.



Obr. 22: Digitální refraktometr ATAGO PAL-RI

Tab. 9: Základní vlastnosti měřených paliv

| Typ paliva | Obsah etanolu [%] | Hustota paliva při 20°C [kg.dm ⁻³] | Výhřevnost paliva [MJ.kg ⁻¹] |
|------------|-------------------|--|--|
| N95 | 0 | 0,742 | 43,7 |
| E32 | 32 | 0,758 | 37,8 |
| E70 | 70 | 0,774 | 31,7 |

7.3.4 Vztahy pro výpočty

Výkon motoru se vypočítá ze vzorce:

$$P_e = M_t \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot 10^{-3} \quad [kW]$$

kde: P_e = Výkon motoru [kW]

M_t = Točivý moment motoru [Nm]

n = Otáčky motoru [min⁻¹]

Hodinová hmotnostní spotřeba paliva se vypočítá ze vzorce:

$$M_{ph} = \frac{V_{vstř} \cdot 2}{10^6} \cdot n \cdot 60 \cdot \rho_{pal.} \quad [kg \cdot h^{-1}]$$

kde: M_{ph} = Hodinová hmotnostní spotřeba paliva [kg.h⁻¹]

$V_{vstř}$ = Vstřikovaná dávka paliva [μl.válec⁻¹.cyklus⁻¹]

$\rho_{pal.}$ = Hustota paliva [kg.dm⁻³]

Měrnou spotřebu paliva vypočítáme ze vzorce:

$$m_{pe} = \frac{M_{ph}}{P_e} \cdot 10^3 \quad [g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1}]$$

kde: m_{pe} = měrná spotřeba paliva [g.kW⁻¹.h⁻¹]

Spotřebu paliva v litrech za hodinu vypočítáme ze vzorce:

$$M_p = \frac{M_{ph}}{\rho_{pal}} \quad [l \cdot h^{-1}]$$

kde: M_p = Hodinová objemová spotřeba paliva [$l \cdot h^{-1}$]

Energie dodávaná v palivu se vypočítala ze vzorce:

$$E_p = \frac{M_{ph} \cdot HU}{3,6} \quad [kJ \cdot s^{-1}]$$

kde: E_p = Energie dodána v palivu [$kJ \cdot s^{-1}$]

HU = Dolní výhřevnost paliva [$MJ \cdot kg^{-1}$]

Celkovou účinnost motoru stanovíme pomocí vzorce:

$$\eta_c = \frac{P_e}{E_p} \cdot 100 \quad [\%]$$

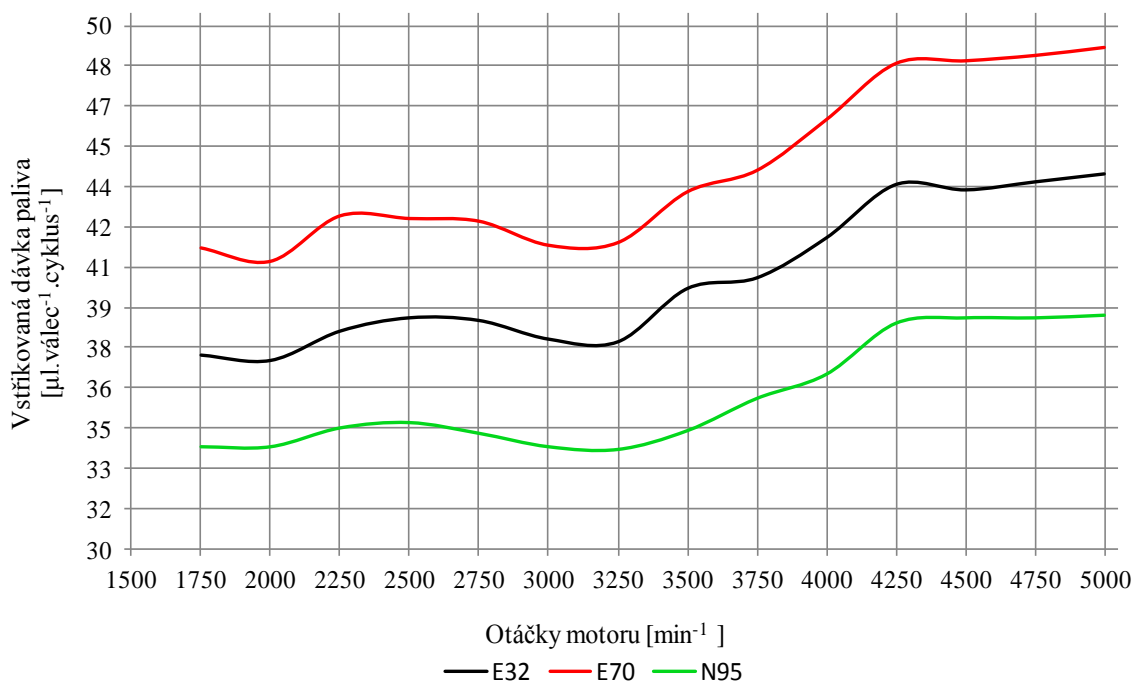
kde: η_c = celková účinnost [%]

7.4 Výsledky měření

Na začátku záznamu měření se vždy zapsala vstříkovaná dávka paliva. V tab. 10 a v grafu na obr. 23, můžeme porovnat dávky paliva [$\mu l \cdot válec^{-1} \cdot cyklus^{-1}$] v závislosti na otáčkách motoru [min^{-1}] při autokorekci ŘJ. Tento graf zobrazuje, že dávky paliva byly navýšeny oproti palivu N95 u E32 o cca 10 % a u E70 o cca 25 %. Navýšení dávky paliva u E70 a E32 je z důvodu nízkého obsahu uhlíku a vyššího obsahu kyslíku snižující výhřevnost paliv. Dávka paliva byla automaticky navýšena ŘJ motoru, pro udržení konstantní hodnoty λ . Lambda se pro všechna tři paliva pohybovala v rozmezí 0,7 – 0,8. Motor pracoval s bohatou směsí.

Tab. 10: Vstřikované dávky paliva pro N95, E70 a E32

| Otáčky [n] | Dávka paliva N95 [μl.válec ⁻¹ .cyklus ⁻¹] | Dávka paliva E70 [μl.válec ⁻¹ .cyklus ⁻¹] | Dávka paliva E32 [μl.válec ⁻¹ .cyklus ⁻¹] |
|---------------|---|---|---|
| 1 750 | 32,1 | 39,1 | 35,3 |
| 2 000 | 32,1 | 38,7 | 35,2 |
| 2 250 | 32,8 | 40,3 | 36,2 |
| 2 500 | 33 | 40,2 | 36,7 |
| 2 750 | 32,6 | 40,1 | 36,6 |
| 3 000 | 32,1 | 39,2 | 35,9 |
| 3 250 | 32 | 39,3 | 35,8 |
| 3 500 | 32,7 | 41,1 | 37,7 |
| 3 750 | 33,8 | 41,9 | 38,1 |
| 4 000 | 34,7 | 43,7 | 39,5 |
| 4 250 | 36,5 | 45,7 | 41,4 |
| 4 500 | 36,7 | 45,8 | 41,2 |
| 4 750 | 36,7 | 46 | 41,5 |
| 5 000 | 36,8 | 46,3 | 41,8 |



Obr. 23: Otáčková charakteristika vstřikované dávky paliva N95, E70 a E32

Během provozu motoru na paliva N95, E70 a E32 byl zaznamenáván točivý moment a otáčky motoru, teplota (výfukových plynů, chladicí kapaliny, oleje, sání a paliva), hmotnost nasávaného vzduchu a vstřikované dávky paliva, tlak (oleje, paliva a sání), průtok vzduchu a hodnoty lambda. Z naměřených hodnot byl dopočítán výkon motoru, spotřeba paliva (hodinová a měrná), energie paliva a celková účinnost. Potřebná data jsem za pomoci programu Microsoft Excel 2007 zpracoval a zobrazil v tab. 11 až 13 a obr. 24 až 30.

Tab. 11: Naměřené a dopočítané hodnoty pro palivo N95

| n [min ⁻¹] | Mt [Nm] | Pe [kW] | T_v [°C] | Mph [kg.h ⁻¹] | mpe [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹] | Mp [l.h ⁻¹] | η_c [%] | E_p [kJ.s ⁻¹] |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1749,9 | 105,9 | 19,4 | 739,9 | 5 | 257,7 | 6,7 | 32,5 | 59,8 |
| 2000,2 | 104,6 | 21,9 | 776,1 | 5,7 | 261,1 | 7,7 | 32,1 | 68,3 |
| 2250 | 109,9 | 25,9 | 784,6 | 6,6 | 253,7 | 8,8 | 33 | 78,4 |
| 2500,2 | 110 | 28,8 | 815,9 | 7,3 | 254,8 | 9,9 | 32,9 | 87,6 |
| 2750 | 109,3 | 31,5 | 839,5 | 8 | 253,3 | 10,8 | 33 | 95,3 |
| 3000 | 108,5 | 34,1 | 838 | 8,6 | 251,8 | 11,6 | 33,3 | 102,5 |
| 3250,1 | 108,6 | 37 | 845,6 | 9,3 | 250,3 | 12,5 | 33,4 | 110,7 |
| 3500 | 113 | 41,4 | 863,2 | 10,2 | 246,2 | 13,7 | 34 | 121,6 |
| 3750 | 115,9 | 45,5 | 887,1 | 11,3 | 248,0 | 15,2 | 33,8 | 134,9 |
| 3999,9 | 120 | 50,2 | 893,8 | 12,3 | 245,9 | 16,6 | 34 | 147,5 |
| 4249,9 | 126 | 56,1 | 908,3 | 13,8 | 246,2 | 18,6 | 34 | 164,9 |
| 4500,1 | 126,6 | 59,6 | 922,2 | 14,7 | 246,6 | 19,8 | 33,9 | 175,5 |
| 4749,7 | 124,9 | 62,3 | 940 | 15,5 | 249,1 | 20,9 | 33,6 | 185,2 |
| 4999,9 | 125,4 | 65,6 | 952,6 | 16,4 | 249,4 | 22,1 | 33,6 | 195,5 |

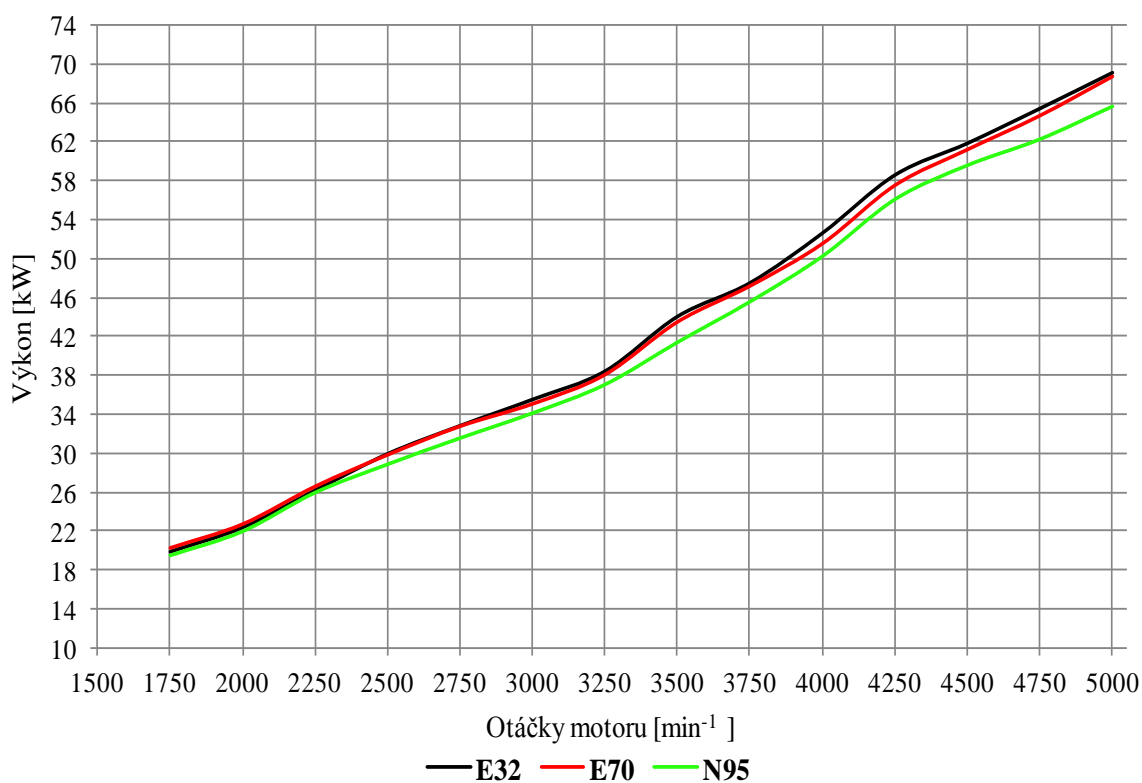
Tab. 12: Naměřené a dopočítané hodnoty pro palivo E70

| n [min ⁻¹] | Mt [Nm] | Pe [kW] | T_v [°C] | Mph [kg.h ⁻¹] | mpe [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹] | Mp [l.h ⁻¹] | η_c [%] | E_p [kJ.s ⁻¹] |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1749,9 | 110,1 | 20,2 | 711,2 | 6,4 | 315,1 | 8,2 | 36 | 56 |
| 2000 | 108,1 | 22,6 | 745,3 | 7,2 | 317,2 | 9,3 | 35,8 | 63,2 |
| 2249,8 | 112,6 | 26,5 | 763,3 | 8,4 | 317,4 | 10,9 | 35,8 | 74,1 |
| 2499,9 | 113,7 | 29,8 | 785,1 | 9,3 | 313,4 | 12,1 | 36,2 | 82,2 |
| 2750 | 113,6 | 32,7 | 804,7 | 10,2 | 313 | 13,2 | 36,3 | 90,2 |
| 3000 | 111,6 | 35 | 804,2 | 10,9 | 312,2 | 14,1 | 36,4 | 96,3 |
| 3249,9 | 112,1 | 38 | 818,2 | 11,9 | 312,1 | 15,3 | 36,4 | 104,5 |
| 3500 | 118,7 | 43,5 | 829,1 | 13,4 | 307,7 | 17,3 | 36,9 | 117,7 |
| 3749,9 | 120 | 47,2 | 849,4 | 14,6 | 309,4 | 18,9 | 36,7 | 128,5 |
| 4000 | 123,3 | 51,5 | 860,4 | 16,2 | 315,1 | 21 | 36 | 143,0 |
| 4250 | 129,2 | 57,5 | 875,2 | 18 | 313,6 | 23,3 | 36,2 | 158,8 |
| 4500 | 129,9 | 61,2 | 888,2 | 19,1 | 312,7 | 24,7 | 36,3 | 168,5 |
| 4750 | 129,9 | 64,7 | 900,7 | 20,3 | 313,6 | 26,2 | 36,2 | 178,6 |
| 4999,7 | 131,3 | 68,7 | 911,8 | 21,5 | 312,6 | 27,8 | 36,3 | 189,2 |

Tab. 13: Naměřené a dopočítané hodnoty pro palivo E32

| n [min ⁻¹] | Mt [Nm] | Pe [kW] | T_v [°C] | Mph [kg.h ⁻¹] | mpe [g.kW ⁻¹ .h ⁻¹] | Mp [l.h ⁻¹] | η_c [%] | E_p [kJ.s ⁻¹] |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1750 | 108,1 | 19,8 | 717,1 | 5,6 | 283,7 | 7,4 | 33,6 | 59,1 |
| 1999,9 | 106,4 | 22,3 | 749,2 | 6,4 | 286,4 | 8,4 | 33,3 | 67,1 |
| 2250 | 111 | 26,1 | 769,2 | 7,4 | 283,4 | 9,8 | 33,6 | 77,8 |
| 2499,9 | 114,2 | 29,9 | 788,8 | 8,3 | 278,9 | 11 | 34,1 | 87,6 |
| 2749,9 | 113,8 | 32,8 | 805,4 | 9,1 | 279 | 12,1 | 34,1 | 96,1 |
| 2999,9 | 113 | 35,5 | 809,6 | 9,8 | 276 | 12,9 | 34,5 | 102,9 |
| 3249,9 | 112,8 | 38,4 | 822,8 | 10,6 | 275,6 | 14 | 34,6 | 111,2 |
| 3499,9 | 120,3 | 44 | 836 | 12 | 272,6 | 15,8 | 34,9 | 126,1 |
| 3749,9 | 120,9 | 47,5 | 856,3 | 13 | 273,5 | 17,1 | 34,8 | 136,4 |
| 4000 | 125,5 | 52,6 | 868,6 | 14,4 | 273,2 | 19 | 34,9 | 151 |
| 4249,9 | 131,7 | 58,6 | 882,8 | 16 | 273,2 | 21,1 | 34,9 | 168,1 |
| 4499,9 | 131,4 | 61,9 | 896,4 | 16,9 | 272,7 | 22,3 | 34,9 | 177,2 |
| 4749,9 | 131,7 | 65,5 | 910,4 | 17,9 | 274 | 23,7 | 34,8 | 188,3 |
| 5000 | 132 | 69,1 | 921,2 | 19 | 274,9 | 25,1 | 34,6 | 199,6 |

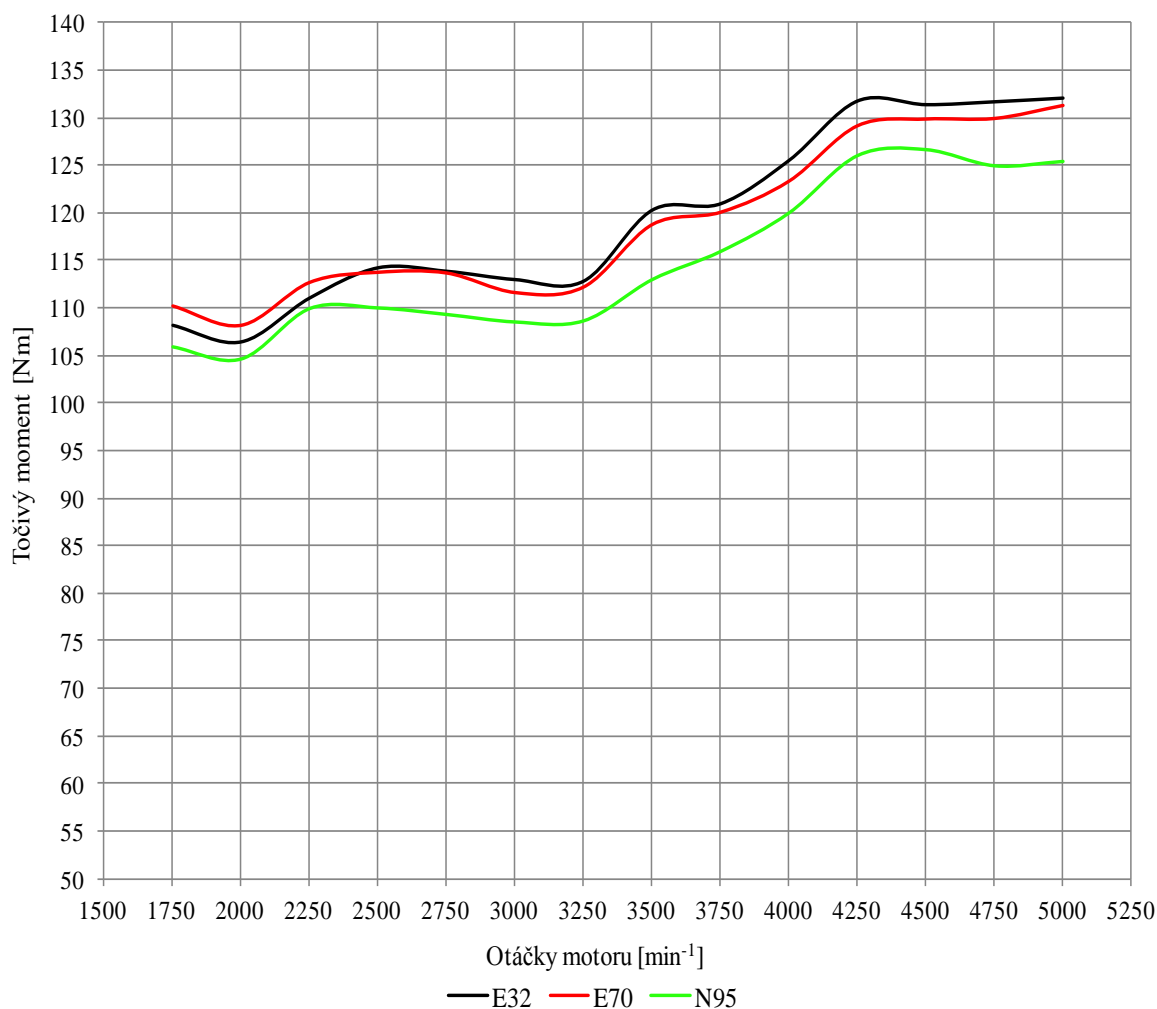
V grafu na obr. 24 je porovnán výkonu motoru [kW] v závislosti na otáčkách motoru [min⁻¹] pro paliva E32, E70 a N95.



Obr. 24: Otáčková charakteristika výkonu paliv E32, E70, N95

Při provozu motoru na palivo N95 se výkon motoru pohyboval od 19,4 kW do 65,6 kW a jeho maximum bylo 65,6 při 5 000 min^{-1} . Při provozu na palivo E70 byl výkon motoru 20,2 až 68,7 kW a maximální výkon byl 68,7 kW při 5 000 min^{-1} . Na poslední měřené palivo E32 se výkon motoru pohyboval od 19,8 do 69,1 kW s maximem výkonu 69,1 kW při 5 000 min^{-1} . Nejnižší hodnoty výkonu motoru byly zaznamenány při provozu na palivo N95 a nejvyšších hodnot se dosahovalo u paliva E32. Nejvyššího výkonu 69,1 kW u paliva E32 bylo dosaženo při 5 000 min^{-1} . Motor na E32 při 5 000 min^{-1} dosahoval vyššího výkonu o 3,5 kW. To je nárůst výkonu o 5,3 %. Výkon motoru na palivo E70 při 5 000 min^{-1} byl o 3,1 kW vyšší a to odpovídá nárůstu výkonu o 4,7 %. Při použití paliv E32 a E70 dochází k nárůstu výkonu.

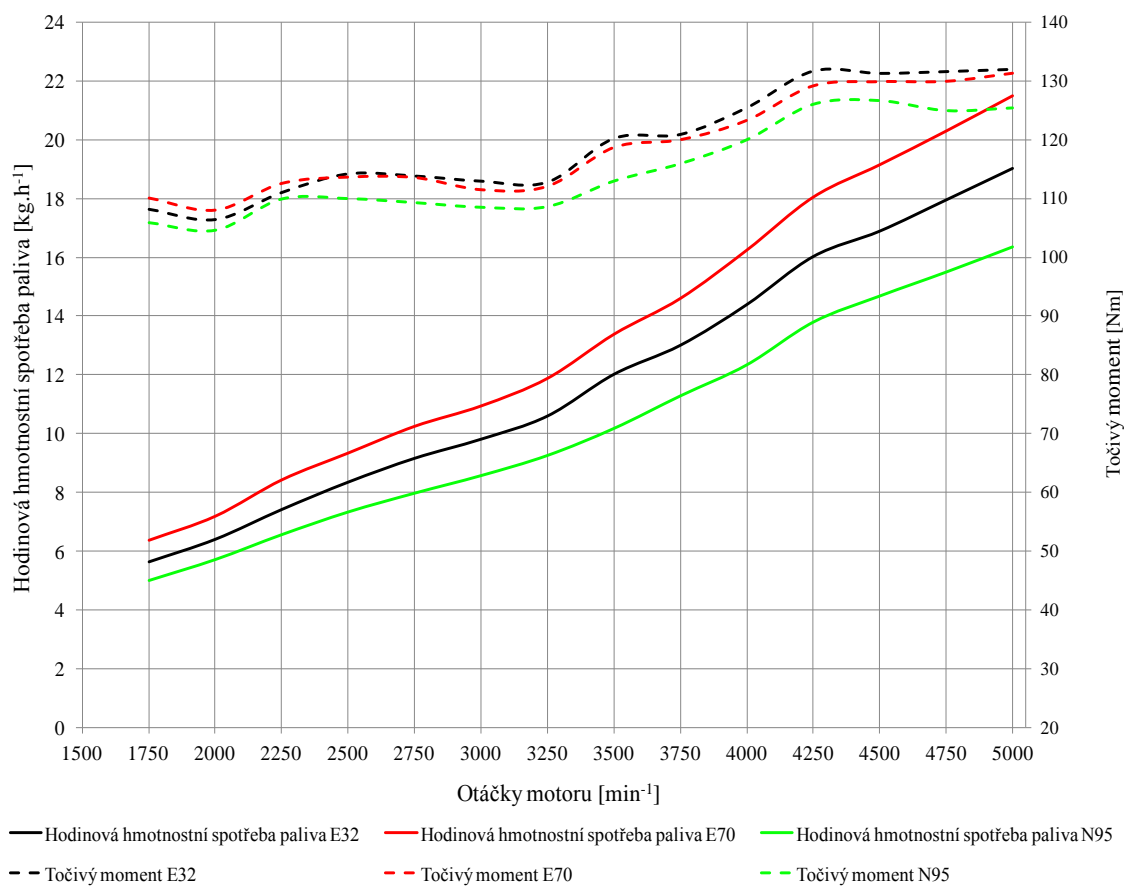
V grafu na obr. 25 je porovnán točivý moment [Nm] v závislosti na otáčkách motoru [min^{-1}] pro paliva E32, E70 a N95.



Obr. 25: Otáčková charakteristika točivého momentu paliv E32, E70, N95

Při provozu motoru na palivo N95 se točivý moment motoru pohyboval od 105,9 Nm do 125,4 Nm a jeho maximum bylo 126,5 Nm při 4 500 min⁻¹. Při provozu na palivo E70 byl točivý moment od 110,1 Nm do 131,3 Nm. Maximálního točivého momentu 131,3 Nm bylo dosaženo při 5 000 min⁻¹. U paliva E32 byl točivý moment 108,1 Nm až 132 Nm s maximálním momentem 132 Nm při 5 000 min⁻¹. V grafu točivého momentu, lze pozorovat jeho zvýšení při provozu na palivo E32 a E70 oproti N95. Při maximálních točivých momentech palivo E32 vykazovalo nárůst točivého momentu o 5,5 Nm, které odpovídalo navýšení o 4,3 % a při použití paliva E70 vykazoval motor vyšší točivý moment o 4,8 Nm a navýšení odpovídalo 3,8 %. Nejnižší hodnoty točivého momentu motoru bylo zaznamenáno při provozu na palivo N95.

Na obr. 26 je graficky znázorněn průběh hodinové hmotnostní spotřeby paliva [kg.h⁻¹] a točivého momentu [Nm] pro paliva N95, E70 a E32 v závislosti na otáčkách motoru [min⁻¹].



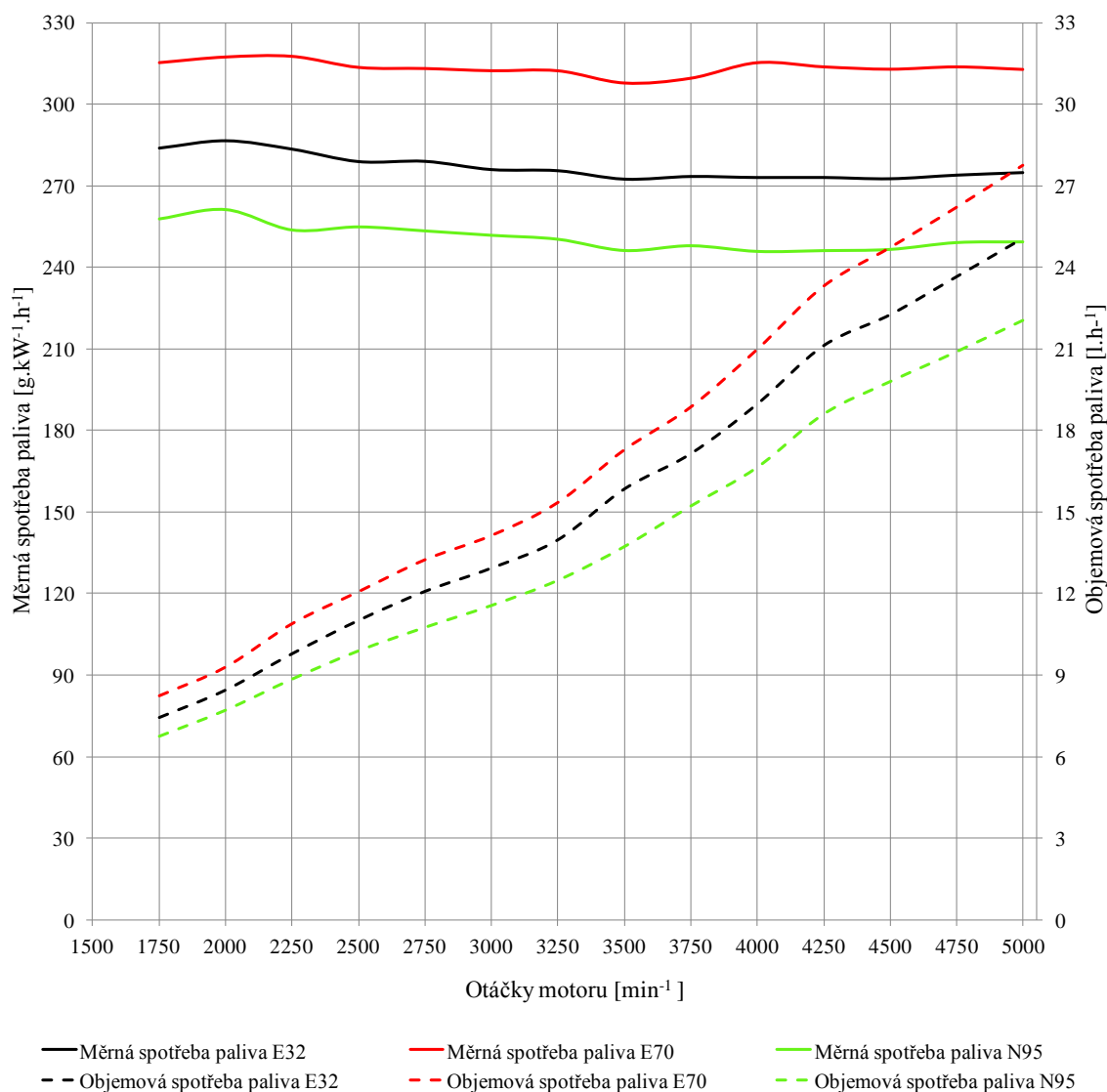
Obr. 26: Otáčková charakteristika motoru s vynesným průběhem Mph a Mt u paliv N95, E70 a E32

U paliva N95 bylo dosahováno hodinové hmotnostní spotřeby paliva od 5 až do 16,4 kg.h⁻¹. Při provozu na palivo E70 byla hodinová spotřeba 6,4 až 21,5 kg.h⁻¹ a na palivo E32 bylo dosaženo hodinové spotřeby od 5,6 až do 19 kg.h⁻¹. Minimální hodinová spotřeba byla u všech paliv při otáčkách 1 750 min⁻¹ a maximální hodinová spotřeba byla u všech tří paliv při 5 000 min⁻¹. U paliva E70 a E32 bylo nejvyšší hodinové spotřeby dosaženo při nejvyšším točivém momentu. Při provozu na N95 byl při otáčkách 5 000 min⁻¹ točivý moment 125,4 Nm a max. hodinová spotřeba 16,4 kg.h⁻¹. Při max. točivém momentu 126,6 Nm a při otáčkách 4 500 min⁻¹ byla hodinová spotřeba 14,7 kg.h⁻¹.

Z grafu vyplývá zvýšená dávka paliva vlivem nízké výhřevnosti etanolu. Vstříkovaná dávka paliva se z N95 na E32 zvýšila o cca 10 % a z N95 na E70 se zvýšila o cca 25 %. Velice podobných hodnot je dosahováno i u hodinové hmotnostní spotřeby paliva. Navýšení dávky paliva bylo dáno autokorekcí ŘJ pro udržení konstantní hodnoty λ .

V grafu je značná diference mezi spotřebou paliva N95, E70 a E32. Při porovnání paliva E70 s N95 je rozdíl 1,4 kg.h⁻¹ až 5,1 kg.h⁻¹. U paliva E32 s N95 je to rozdíl od 0,6 kg.h⁻¹ až do 2,6 kg.h⁻¹.

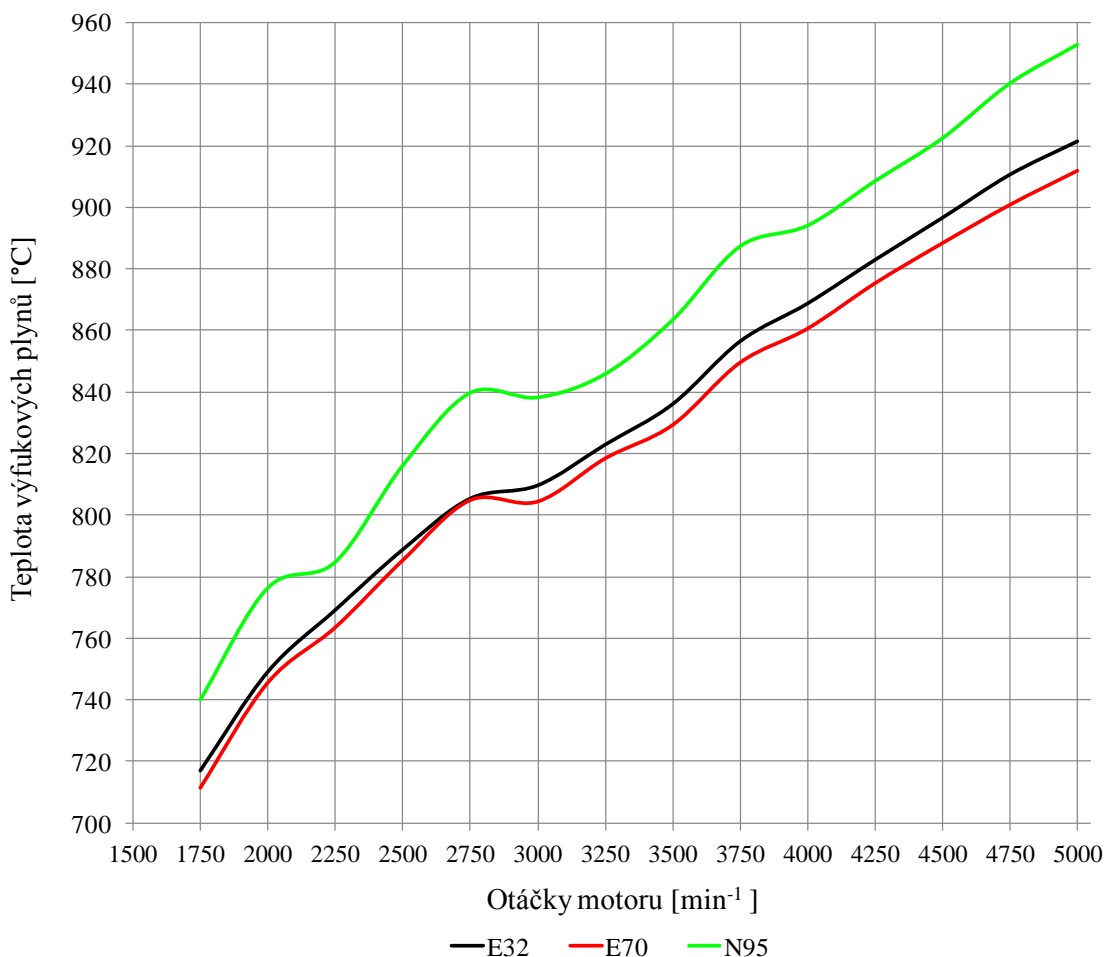
V grafu na obr. 27 je srovnání měrné spotřeby paliva [$\text{g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$] a objemové spotřeby paliva v [l.h^{-1}] v závislosti na otáčkách motoru [min^{-1}].



Obr. 27: Otáčková charakteristika motoru spotřeby paliv E32, E70 a N95

Nejnižší měrná spotřeba paliva N95 byla $245,9 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ při $4\,000 \text{ min}^{-1}$. U paliva E32 byla nejnižší měrná spotřeba $272,6 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ při $3\,500 \text{ min}^{-1}$ a u paliva E70 motor dosahoval nejnižší měrné spotřeby $307,7 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$ při $3\,500 \text{ min}^{-1}$. U paliv E32 a E70 je dosahováno nejnižší měrné spotřeby při nižších otáčkách, než u paliva N95. Nejvyšší měrné spotřeby paliva se dosahuje u E70 a nejnižší na N95. Palivo E32 se nachází mezi těmito palivy. Toto pořadí je dáno množstvím etanolu v palivu. Etanol má nižší výhřevnost oproti benzínu. Motor při provozu na palivo E70 a E32 vykazuje vyšší měrnou spotřebu paliva při stejných hodnotách lambdy.

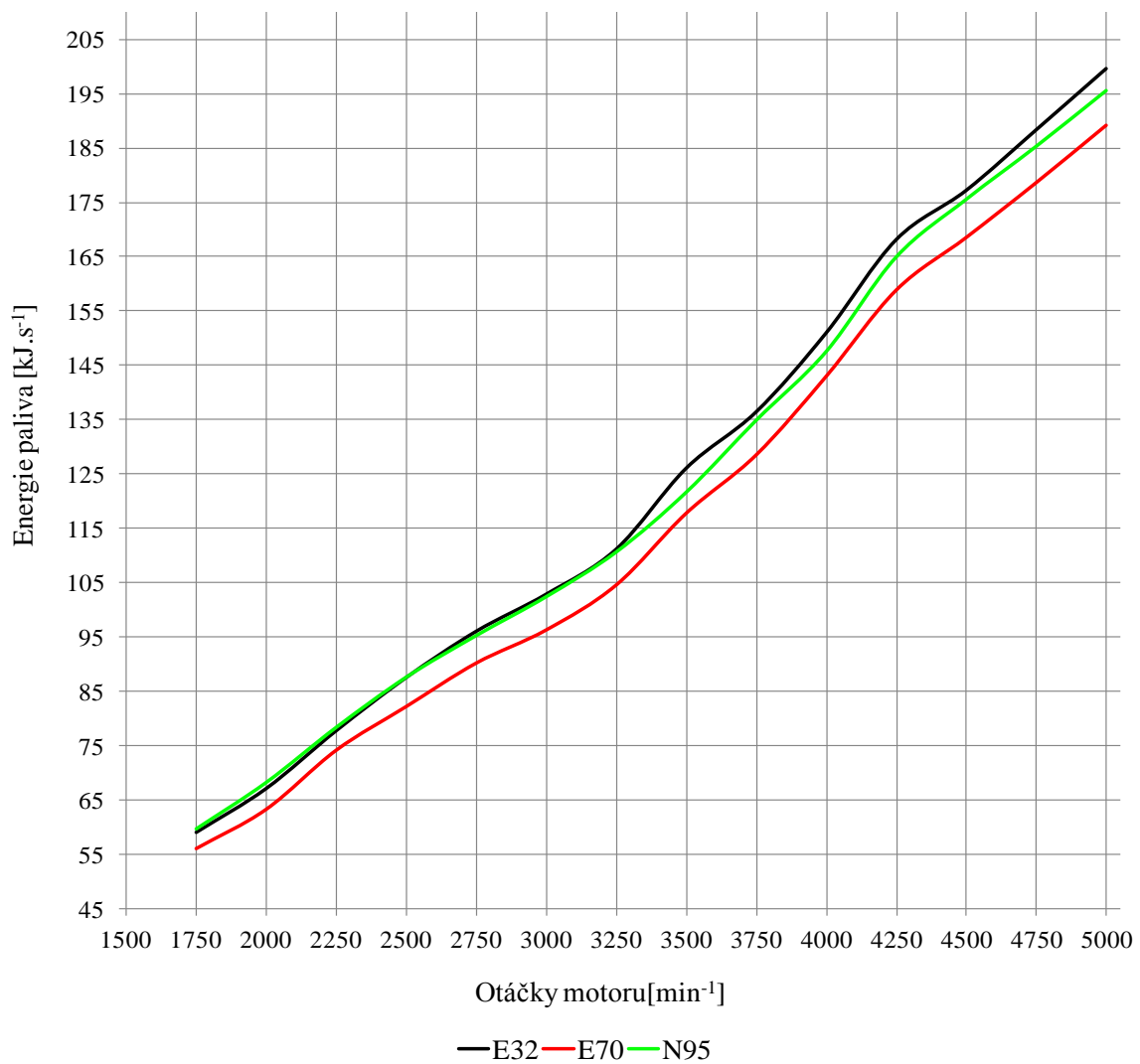
V grafu na obr. 28 je srovnání teploty výfukových plynů [°C] v závislosti na otáčkách motoru [min⁻¹] pro paliva E32, E70 a N95.



Obr. 28: Otáčková charakteristika teploty výfukových plynů u paliv E32, E70 a N95

Nejnižších teplot výfukových plynů se u všech paliv dosahovalo při otáčkách 1 750 min⁻¹. U paliva E32 to bylo 717,1 °C, u paliva E70 byla teplota výfukových plynů 711,2 °C a pro palivo N95 bylo naměřeno 739,9 °C. Nejvyšších teplot výfukových plynů se dosahovalo při 5 000 min⁻¹. Pro palivo E32 to bylo 921,2 °C, pro E70 byla teplota 911,8 °C a pro palivo N95 se dosáhlo teploty 952,6 °C. Teplota výfukových plynů pro všechna paliva stoupá se zvyšujícími se otáčkami motoru. Po celý průběh měření se mezi jednotlivými teplotami výfukových plynů udržuje velmi podobný teplotní rozdíl. Nejvyšší teploty v celém průběhu měření je dosahováno u paliva N95 a u paliva E70 zase nejnižších teplot.

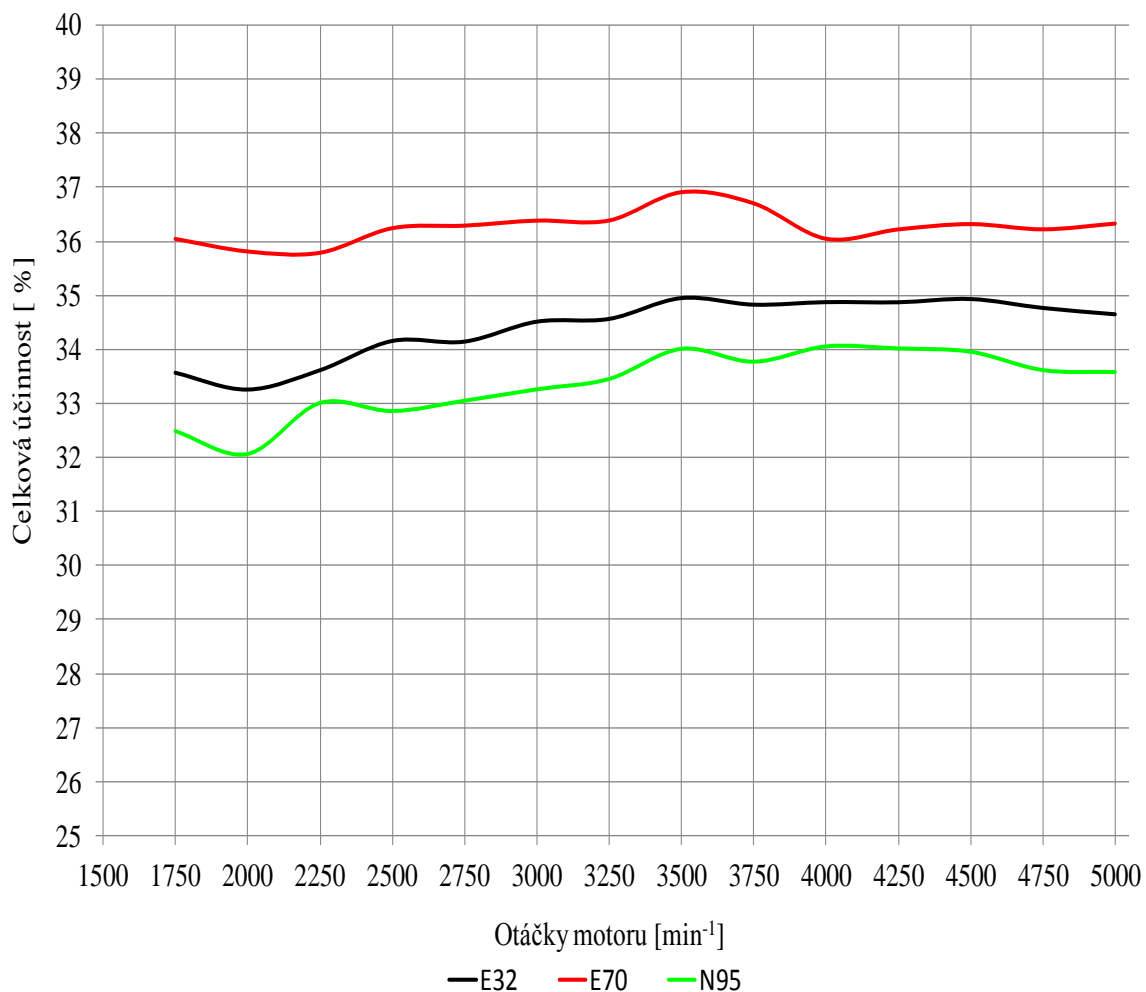
Na obr. 29 je grafické srovnání dodávané energie v palivu [$\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$] E32, E70 a N95 v závislosti na otáčkách motoru [min^{-1}].



Obr. 29: Otáčková charakteristika energie dodávanou v palivu u E32, E70 a N95

Z grafu je patrné že palivo E32 dodává vyšší energii obsaženou v palivu. Křivka N95 se nachází mezi křivkou paliva E32 a palivem E70. Nižší energie paliva E70 je způsobena vyšší měrnou spotřebou vlivem vyššího obsahu etanolu. S vyšším množstvím etanolu, klesá energie dodávaná v palivu. Palivo E32 dosahuje lepších výsledků jako palivo N95. Je to z důvodů kvalitnější směsi paliva.

V grafu na obr. 30 je porovnána celková účinnost [%] paliv E32, E70 a N95 v závislosti na otáčkách motoru [min^{-1}].



Obr. 30: Otáčková charakteristika celkové účinnosti u paliv E32, E70 a N95

V posledním grafu je porovnána účinnost paliv E32, E70 a N95. Z grafu vyplývá, že nejvyšší účinnosti 36,9 % bylo dosaženo na palivo E70 při otáčkách motoru $3\,500\text{ min}^{-1}$. Dále je palivo E32 s účinností 34,9 % při otáčkách motoru $3\,500\text{ min}^{-1}$. Nejnižší účinnosti 33,9 % se dosáhlo s palivem N95 při otáčkách motoru $4\,500\text{ min}^{-1}$. Nejvyšší využití energie paliva je u E70.

8 DISKUZE A ZÁVĚR

Vzhledem k tomu, že paliva obsahující etanol začínají být rozšířená, věnoval jsem se mu v praktické části diplomové práce. Cílem praktické části bylo porovnat různé druhy paliv. Jednalo se o automobilový benzín N95, E85 a E40. Paliva N95 a E85 lze zakoupit na čerpacích stanicích pohonných hmot. Palivo E40 není na trhu dostupné. Bylo vytvořeno z paliv N95 a E85 pouze pro měření. Paliva byla dále v praktické části značena podle obsahu etanolu v palivu (E70 a E32).

Motor Škoda 1.4 MPI 16 V (AUB) byl určen pro měření těchto tří paliv. Z technických parametrů lze zjistit, při provozu na palivo N95, maximální výkon motoru 74 kW při $6\,000\text{ min}^{-1}$ a maximální točivý moment motoru 126 Nm při $4\,400\text{ min}^{-1}$. Při měření na palivo N95 bylo dosaženo maximálního výkonu 65,6 kW při $5\,000\text{ min}^{-1}$ a maximálního točivého momentu 126,65 Nm při $4\,500\text{ min}^{-1}$. Na maximální výkon motoru, který je udáván výrobcem jsme se při měření na palivo N95 nedostali, motor běžel z bezpečnostních důvodů pouze do $5\,000\text{ min}^{-1}$.

Při provozu na palivo E70 se dosáhlo vyššího výkonu a točivého momentu motoru. Výkon motoru se navýšil o 4,7 % a točivý moment se navýšil o 3,8 %. U paliva E32 s nižším obsahem etanolu než u E70 bylo dosaženo nejvyššího výkonu a točivého momentu motoru. Výkonu motoru se navýšil o 5,3 % a točivý moment se navýšil o 4,3 %. Navýšení výkonu a točivého momentu motoru, je dáno lepší homogenní směsí paliva a vzduchu. Etanol přidaný v benzínu obsahuje kyslík, který podporuje ve válci motoru dokonalejší hoření paliva. Zvýšení výkonu a točivého momentu lze přisoudit i změně předstihu zapalování, kdy u paliva E70 se předstih zvyšoval o 4° a u paliva E32 se zvyšoval o 2° v porovnání s palivem N95.

Motor při provozu na palivo N95 dosahovalo optimálních hodnot výkonu a točivého momentu motoru. U paliv E32 a E70 se dosahovalo vyšších hodnot výkonu a točivého momentu vlivem vyššího obsahu etanolu v palivu. Motor také při provozu na tyto paliva vykazoval nižších hodnot teploty výfukových plynů. Maximální teplota výfukových plynů při provozu na N95 byla $952,6\text{ }^\circ\text{C}$, s palivem E32 byla teplota nižší o $31,4\text{ }^\circ\text{C}$ a u paliva E70 byla teplota nižší o $40,8\text{ }^\circ\text{C}$. Nižší teploty výfukových plynů je dosaženo nižší výhřevností paliv E70 a E32. Další výhodou paliv s etanolem byla celková účinnost motoru. Kdy při provozu na palivo N95 byla maximální účinnost motoru 33,9 % při $4\,000\text{ min}^{-1}$, u E70 byla nejvyšší účinnost motoru 36,9 % při $3\,500\text{ min}^{-1}$ a u E32

se dosahovalo nevyšší účinnosti motoru 34,9 % při 3 500 min⁻¹. Vyšší účinnost motoru je dána zvýšenou měrnou spotřebou paliva, která je ovlivněna nižší výhřevností E70 a E32. Celková účinnost motoru je dána výkonem a výhřevností paliva.

Obsah etanolu v palivu měl však negativní dopad na spotřebu paliva. U N95 byla nejnižší měrná spotřeba paliva 245,9 g.kW⁻¹.h⁻¹ při otáčkách 4 000 min⁻¹. Při použití paliva E70 byla měrná spotřeba paliva vyšší o 61,8 g.kW⁻¹.h⁻¹, spotřeba se tak zvýšila o 25 %. Použití paliva E32 navýšilo měrnou spotřebu o 26,7 g.kW⁻¹.h⁻¹ s navýšením o 10 %. U paliv E70 a E32 se dosahovalo nejnižší měrné spotřeby paliva při otáčkách 3 500 min⁻¹. Vyšší měrná spotřeba byla dána nižší výhřevností paliv E70 a E32 a nižším obsahem uhlíku v palivu. Výhřevnost u paliva E70 byla 31,7 MJ.kg⁻¹ a u paliva E32 37,8 MJ.kg⁻¹. Z důvodu nízké výhřevnosti, ŘJ motoru za pomoci autokorekce navýšila dávku paliva (E70 o 25 % a u E32 o 10 %) pro udržení konstantní hodnoty λ .

Tyto výsledky jsem porovnal s výsledky uvedené v literatuře [65]. Autor práce prováděl měření na stejném motoru a ve stejné zkušební na různá paliva (N95; E72,2; E62; E45; E37,8). Při měření, motor vykazoval nejnižšího výkonu a točivého momentu při provozu na palivo N95 a E72,2. U paliv E37,8, E45 a E62,2 bylo dosaženo nejvyššího výkonu a točivého momentu motoru. Hodnoty těchto tří paliv jsou si podobné. Autor tedy dosáhl podobných výsledku, kdy vyšší výkon a točivý moment byl s palivem obsahující etanol. Nejvyššího výkonu a točivého momentu bylo ale dosaženo u paliv s obsahem etanolu okolo 37,8 – 62,2 %, podobně jako v mé práci.

Dále jsem práci srovnával s literaturou [35], kdy autoři prováděli měření na jednoválcovém čtyřtakovém motoru Peters PAIW. Na tomto motoru testovali paliva E0; E20; E40; E60 a E80. Při měření těchto paliv bylo autory zjištěno, že se zvýšením procentuelního složení etanolu v benzínu zvyšuje výkon motoru. Nejvyššího výkonu nebylo však dosaženo na palivo E80, ale na E40. Obdobného výsledku bylo dosaženo v mé diplomové práci.

Dále také můžeme porovnat práci s výsledky literatury [47] kde bylo provedeno měření paliv E0 a E10 na motoru Toyota Corolla s maximálním výkonem 65 kW a maximálním točivým momentu 124 Nm. Při provozu motoru na palivo E0 se dosahovalo maximálního výkonu 65 kW a na palivo E10 to bylo 69 kW. V jejich práci je i uvedeno, že při provozu na E10 byla vyšší měrná spotřeba než při provozu na E0. Rozdíl mezi

těmito palivy byl cca $5 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. Podobných výsledků jsem dosáhl i v mé práci, kdy při provozu na paliva obsahující etanol byla vyšší měrná spotřeba paliva.

Na základě těchto zjištěných výsledků, můžeme usoudit, že výsledky praktické části jsou srovnatelné ve většině případů, s výsledky v uvedených literaturách a potvrzují, že při spalování paliva s etanolem dochází ke zvýšení výkonových parametrů motoru.

Se současným stavem rizika klesajících zásob ropy a růstem výfukových emisí, je velmi důležité, aby se lidstvo přiklábělo k používání a vývoji alternativních paliv, které by nahradily paliva z fosilních zdrojů. Sice se nacházejí nová naleziště, ale někteří odborníci tvrdí, že se zásoby ropy vyčerpají za 53,3 let. Díky obavám o spotřebování veškeré ropy se začínají rozšiřovat alternativní pohonné hmoty. Jsou alternativní paliva vyráběná z fosilních paliv a z biomasy. S klesající zásobou ropy, je potřeba nahradit alternativní paliva vyráběná z fosilních zdrojů. Největší pozornost je věnována biopalivům vyráběným z biomasy.

Ideálním alternativním palivem vyráběným z biomasy je etanol. Etanol se používá pro výrobu paliva E85. Jedná se o směs etanolu a benzínu. Etanol zde může být v zastoupení 70 – 85 % a benzín v 30 – 15 %. Poměry jsou dány ročním obdobím podle zimní nebo letní směsi. U tohoto alternativního paliva není potřeba přestavba automobilu, jak je tomu např. u pohonu na LPG. Je pouze důležité u starších automobilů vyměnit pryžové části palivového systému za části odolné proti etanolu.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ABUHABAYA a J.D. FIELDHOUSE. *Proceedings of the 36th International MATADOR Conference: Variation of Engine Performance and Emissions Using Ethanol Blends* [online]. London: Springer-Verlag London, 2010, s. 413-416 [cit. 2015-02-12]. ISBN 978-1-84996-431-9. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=PcOph3Hsn7cC&pg=PA416&lpg=PA416&dq=The+effects+of+ethanol%E2%80%93unleaded+gasoline+blends+on+engine+performance+and+exhaust+emissions+in+a+spark-ignition+engine&source=bl&ots=DH1FY33lGG&sig=x9roHu1004sO2JabOeP4SF_mFMQ&hl=cs&sa=X&ei=o9EWVbX6GrcywPh94DwDA&ved=0CB8Q6AEwADgK#v=onepage&q=ethanol&f=false
- [2] Alternative Fuels Data Center: Biobutanol [online]. Energy.gov, 13. 1. 2015 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: http://www.afdc.energy.gov/fuels/emerging_biobutanol.html
- [3] AutaNet: ŠKODA Octavia G-TEC: Čistý pohon na CNG již od 433.900 Kč [online]. 2014, [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.autanet.cz/autonews-skoda-octavia-g-tec-cisty-pohon-na-cng-jiz-od-433-900-kc-1945>
- [4] Autoethanol: Přestavba na E85 [online]. Autoethanol, 2012, [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://www.autoethanol.cz/autoethanol/ETHANOL-A-PRESTAVBA-NA-E85-a14_0.htm
- [5] Autoplyn-centrum: Informace o přestavbě na LPG- zkušenosti, rady, odpovědi [online]. 2012, [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.auto-plyn-lpg.cz/informace-o-lpg>
- [6] Autoservis-saku: LPG-přestavba/servis [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://www.autoservis-saku.cz/lpg-%E2%80%93-prestavba-servis-102.htm>
- [7] BAUMRUK, Pavel. Příslušenství spalovacích motorů. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1996, 236 s. ISBN 80-010-1103-8.
- [8] BenzinSK: Benzín [online]. 2005, 1. 2. 2005 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: http://www.benzin.sk/index.php?selected_id=101&article_id=43

- [9] BEROUN, Stanislav. Vozidlové motory [online]. Liberec: KSD FS TU v Liberci, 2005, 108 s. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1733>. Studijní texty.
- [10] Bezpečnostní list: Bezolovnaté automobilové benzíny [online]. 2005, 7 s. [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: http://www.biokont.cz/images/1169746260_sb_autobenzin_24_.pdf
- [11] Biopaliva Frčí: E10 – nový druh paliva i v České republice? [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://biopalivafrci.cz/clanky/e10-%E2%80%93-novy-druh-paliva-i-v-ceske-republice/>
- [12] Biopaliva Frčí: Chci začít tankovat biopaliva. Co to obnáší? [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://biopalivafrci.cz/chci-zacit-tankovat-biopaliva-co-to-obnasi/>
- [13] Bioplyn [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 9 s. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Bioplyn.pdf
- [14] Bioplynové stanice: Technologie bioplynových stanic [online]. Brno, [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [15] BP [online]. 1996 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z <http://www.bp.com/en/global/corporate.html>
- [16] BP: Oil reserves [online]. 2013 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/review-by-energy-type/oil/oil-reserves.html>
- [17] Butanol fuel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2015, 3. 3. 2015 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Butanol_fuel
- [18] Čepro: Poradna [online]. Praha, [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <https://www.ceproas.cz/poradna?select%5Bpg%5D=2>
- [19] Česká bioplynová asociace: Bioplyn [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace, 2013, [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/bioplyn/>

- [20] ČÍŽ, Karel. Listy cukrovarnické a řepařské: Bioetanol – světový rozvoj jeho využití jako motorového paliva [online]. Praha: VUC Praha, a. s. ve spolupráci s ČMCS a SPC, 2010, roč. 2010, č. 1 [cit. 2015-03-11]. ISSN 1210-3306. Dostupné z:http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/31-32.PDF
- [21] ČUPERA, Jiří a Adam POLCAR. Listy cukrovarnické a řepařské. Výkonové parametry zážehového motoru při spalování paliva E85 [online]. 2011, roč. 11, č. 127, 357–360. [cit. 2015-03-17]. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2011/PDF/357-360.pdf
- [22] European Biofuels Technology Platform: ETBE [online]. 2014, 17. 11. 2014 [cit. 2015-02-28]. Dostupné z:<http://www.biofuelstp.eu/etbe.html>
- [23] FERENC, Bohumil. Spalovací motory: karburatory a vstřikování paliva. 1. vyd. Praha: Computer Press, 2004, 388 s. ISBN 80-251-0207-6.
- [24] Flexcar: Vše o Ethanolu E85 [online]. FLEXCAR, 2008, [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.flexcar.cz/vse-o-ethanolu-e85>
- [25] HAMERSKÝ, Stanislav. Názvosloví organické chemie: Názvosloví etherů [online]. Brno, 2012, [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: http://www.gymnaslo.cz/files/users/spravce/dum/NazvosloviOrganickeChemie/VY_32_INOVACE_CH.1.08.pdf
- [26] Havel plyn a.s.: Co je LPG [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://autanaplyn.com/lpg/co-je-lpg/>
- [27] HLAVŇA, Vladimír et al. Dopravný prostředek a jeho motor. EDIS-vydavatelství, 2007, 466 s. ISBN 978-80-8070-662-3.
- [28] HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER, Vladimír HÖNIG a Pavel ŠTĚRBA. Chemické listy: Využití bioethanolu jako paliva ve spalovacích motorech [online]. Praha, 2011, roč. 2011, č. 105 [cit. 2015-03-10]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_122-128.pdf
- [29] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. Výkladový automobilový slovník. 4. vyd. Brno: Computer Press, 2011, 264 s. ISBN 978-80-251-3725-3.

- [30] KAMEŠ, Josef. Alternativní pohon automobilů. 1. vyd. Praha: BEN, 2004, 231 s. ISBN 80-730-0127-6.
- [31] KÁRA, Jaroslav. Výroba a využití bioplynu v zemědělství [online]. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 2007, 120 s. [cit. 2015-02-29]. ISBN 978-80-86884-28-8. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2007/086.PDF>
- [32] KESHAV S., Varde. Control of Exhaust Emissions from Small Engines Using E-10 and E-85 Fuels [online]. Dearborn, Michigan 48128: University of Michigan-Dearborn, 2002, 23 s. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: http://www.michigan.gov/documents/CIS_EO_Control_of_Emissions-E85-Final_AF-E-_87915_7.pdf
- [33] KITTEL, Hugo. Zkušenosti s výrobou ETBE v České rafinérské a.s. [online]. Litvínov, 2002, 11 s. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://www.crc.cz/data/publications/vyroba_etbe.pdf
- [34] KOTEK, Martin, Jan HROMÁDKO, Petr MILER, Tomáš KOTEK a Karel PLUHAŘ. Listy cukrovarnické a řepařské. Aplikace paliva E85 v motoru 1.2 htp [online]. 2013, 7-8, č. 129, 258–261 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2013/PDF/258-261.pdf
- [35] KUBURI, Laminu S. et al IOSR Journal of Engineering: Analy ceCharacterist ics zlihu Fueled SI Engine. Nigeria: Ahmadu Bello University, 2014, s. 36-41. [cit. 2015-02-25]. ISSN (e): 2250-3021. http://www.academia.edu/7819229/IOSR_Journal_of_Engineering_IOSRJEN_Performance_Characteristics_of_a_Gasohol_Fueled_S.I_Engine
- [36] LAURIN, Josef. Kvasný líh v motorových palivech v České republice [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006, 12 s. [cit. 2015-02-14]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2006/2006_103_01.pdf
- [37] LAURIN, Josef. Motory na paliva s kvasným lihem [online]. 2006, 8 s. [cit. 2015-02-13]. Dostupné z: http://tdox.sweb.cz/350/E85%202006_102_01.pdf

- [38] LAURIN, Josef. Uplatnění biopaliv k pohonu vozidlových motorů [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 4 s [2014-12-20]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2007/2007_015_01.pdf
- [39] Lyondellbasel: Ethyl Tertiary Butyl Ether (ETBE) [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.lyondellbasell.com/Home/index.htm>
- [40] MACEK, Jan. Spalovací motory I. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2007, 260 s. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [41] MATĚJOVSKÝ, Vladimír. Automobilová paliva. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 223 s. ISBN 80-247-0350-5.
- [42] MILER, Petr, Jan HROMÁDKO, Jiří HROMÁDKO, Vladimír HÖNIG a Michal SCHWARZKOPF. Listy cukrovarnické a řepařské. Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85 [online]. 2009, 5 - 6, č. 125, 180–184 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2009/pdf/180-184.PDF
- [43] MUŽÍKOVÁ, Zlata, Jaroslav KÁŇA, Milan POSPÍŠIL a Gustav ŠEBOR. Aprochem 2009: Fyzikálně-chemické vlastnosti butanol-benzínových směsí [online]. 1. vyd. Praha: PCHE - PetroCHEmEng, 2010, 1434 – 1440. [cit. 2015-02-25]. ISBN 978-80-02-02105-6. Dostupné z: http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2009_204.pdf
- [44] MUŽÍKOVÁ, Zlata, Ondřej KAPASNÝ, Milan POSPÍŠIL a Jiří KOLENA. Chemické listy: Charakteristika acetelů a etherů glycerolu – bioložek do motorových paliv [online]. Praha: Česká společnost chemická, 2012, [cit. 2015-03-02]. ISBN 0009-2770. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_09_836-843.pdf
- [45] Orlen: Ethyl-terc-butyl-ether (ETBE) [online]. Polsko, [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.orlen.pl/EN/ForBusiness/PetrochemicalProducts/Petrochemicals/Pages/EthylTertbutylEtherETBE.aspx>
- [46] Petroleum.cz: ETBE [online]. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=83>

- [47] PIKŪNAS, Alvydas, PUKALSKAS a Juozas GRABYS. Journal of KONES Internal Combustion Engines: Influence of Composition of Gasoline - Ethanol Blends on Parameters of Internal Combustion Engines. 2003, s. 7. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: <http://ilot.edu.pl/KONES/2003/1-2/26.pdf>
- [48] POLCAR, Adam, Jiří ČUPERA, Pavel SEDLÁK. Emise zážehového motoru při spalování paliva E85. Listy cukrovarnické a řepářské. 2014. sv. 130, č. 4, s. 149-153. ISSN 1210-3306.
- [49] PR ČAPPO. Petrol: Automobilové benziny [online]. 2013, [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.petrol.cz/aktuality/archiv/2013/27/automobilove-benziny-2736.aspx>
- [50] REINBERGR, Oldřich. Listy cukrovarnické a řepářské: Podpora rozvoje a užití bioetanolu v České republice [online]. Praha: VUC Praha, a. s. ve spolupráci s ČMCS a SPC, 2009 [cit. 2015-03-10]. ISSN 1210-3306. Dostupné z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2009/pdf/234-235.PDF
- [51] Sabic: MTBE (METHYL TERTIARY BUTYL ETHER) [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.sabic.com/corporate/en/productsandservices/chemicals/mobe>
- [52] SAIDL, Jan. Autolexicon.net: Emisní norma EURO [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro/>
- [53] SAIDL, Jan. Autolexicon.net: Oktanové číslo [online]. Mladá Boleslav [cit. 2015-02-12]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/oktanove-cislo/>
- [54] SLADKÝ, Václav. Biobutanol – vhodnější náhrada benzínu [online]. Praha: Biom.cz, 2007, 4. 7. 2007 [cit. 2015-03-14]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-vhodnejsi-nahrada-benzinu>
- [55] ŠEBOR, Gustav, Milan POSPÍŠÍL a Jan ŽAKOVEC. Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě: 1.část [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006, 200 s. [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: http://www.mdcz.cz/NR/rdonlyres/F2EF24EF-5E59-42C7-B6C7-A5508CE8F820/0/Technickoekonomicka_analyza_vhodnych_alternativnich_paliv_v_dopravecast_1.pdf

- [56] ŠEŠULKA, V. Analýza paliv: [Vysokoškolská učebnice]. 1. vyd. Praha: SNTL, 1970. 258 s
- [57] Šlápni na plyn: Původ a specifikace LPG [online]. [cit. 2015-02-15]. Dostupné z: <http://lpg-cng.ochranamotoru.cz/propan-butan-v-podobu-auto-plynu-lpg-specifika.htm>
- [58] ŠVIDRNOCH, Roman. Auto.idnes.cz: Tankujte biolíh E85, můžete ušetřit. Každé auto ho ale nevypije [online]. iDNES, 2010, [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/tankujte-biolih-e85-muzete-usetrit-kazde-auto-ho-ale-nevypije-pry-/automoto.aspx?c=A101005_152001_automoto_fdv
- [59] Technologická platforma silniční doprava: Alternativní paliva na bázi etanolu a jejich zdroje [online]. Praha: SGS Czech Republic s.r.o., 2006, [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.tpsd-ertrac.cz/file/portfolio-projektu-5-etapa-projektu-tpsd-6a-alternativni-paliva-na-bazi-etanolu-a-jejich-zdroje/>
- [60] Vítejte na Zemi...: Těžba a spotřeba ropy [online]. 2013 [cit. 2015-02-08]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=tezba_a_spotreba_ropy&site=doprava
- [61] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [62] VLK, František. Paliva a maziva motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 376 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [63] VOŠÁHLÍKOVÁ, Miluše, Jarmila PAZRALOVÁ a Kateřina DEMNEROVÁ. Chemické listy: Přehled remediačních technologií methylterc.butyletheru (MTBE) [online]. Praha: Česká společnost chemická, 2004, [cit. 2015-03-02]. ISBN 0009-2770. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_10_03.pdf
- [64] VOŠÁHLÍKOVÁ, Miluše, Kateřina DEMNEROVÁ a Jarmila PAZLAROVÁ. Je náhrada ETBE za MTBE výhodou? [online]. Praha: Vysoká škola chemickotechnologická v Praze, 2007, 6 s. [cit. 2015-02-28]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_02_102-107.pdf
- [65] ŽÁK, Marek. Optimalizace parametrů vozidlového motoru. Brno, 2014. Disertační práce. Mendelova univerzita v Beně. Vedoucí práce doc. Ing. Pavel Sedlák, CSc.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 1: Zásoby ropy v jednotlivých regionech (v roce 2011) [60]</i> | 10 |
| <i>Obr. 2: Země s největšími zásobami ropy [60]</i> | 11 |
| <i>Obr. 3: Průběh spotřeby ropy ve světě za den [60]</i> | 11 |
| <i>Obr. 4: Síť čerpacích stanic LPG</i> | 15 |
| <i>Obr. 5: Součásti LPG systému [6]</i> | 15 |
| <i>Obr. 6: Síť čerpacích stanic CNG</i> | 18 |
| <i>Obr. 7: Schéma zástavby CNG [55]</i> | 19 |
| <i>Obr. 8: Využití bioplynu pro provoz automobilů na CNG [14]</i> | 20 |
| <i>Obr. 9: Proces výroby bioplynu [14]</i> | 21 |
| <i>Obr. 10: Světová výroba lihu (od roku 2009 je to odhad) [20]</i> | 30 |
| <i>Obr. 11: 1 – dynamometr AVL Alpha 240, 2 – zkoušený motor Škoda 1.4 MPI 16V</i> | 34 |
| <i>Obr. 12: Kondice chladicí kapaliny Obr. 13: Kondice motorového oleje</i> | 35 |
| <i>Obr. 14: Rozvody paliva Obr. 15: Palivové nádrže</i> | 35 |
| <i>Obr. 16: Čerpadla pro plnění nádrží</i> | 35 |
| <i>Obr. 17: Palivové čerpadlo</i> | 36 |
| <i>Obr. 18: Velín</i> | 36 |
| <i>Obr. 19: Masky pro ovládání zkušebny motoru Obr. 20: ŘJ Magneti Marelli SRA-E</i> 37 | |
| <i>Obr. 21: Palivová mapa vstřikované dávky paliva při spalování benzínu N95</i> | 38 |
| <i>Obr. 22: Digitální refraktometr ATAGO PAL-RI</i> | 40 |
| <i>Obr. 23: Otáčková charakteristika vstřikované dávky paliva N95, E70 a E32</i> | 43 |
| <i>Obr. 24: Otáčková charakteristika výkonu paliv E32, E70, N95</i> | 45 |
| <i>Obr. 25: Otáčková charakteristika točivého momentu paliv E32, E70, N95</i> | 46 |
| <i>Obr. 26: Otáčková charakteristika motoru s vynesným průběhem M_{ph} a M_t u paliv N95, E70 a E32</i> | 47 |
| <i>Obr. 27: Otáčková charakteristika motoru spotřeby paliv E32, E70 a N95</i> | 49 |

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 28: Otáčková charakteristika teploty výfukových plynů u paliv E32, E70 a N95 ..</i> | 50 |
| <i>Obr. 29: Otáčková charakteristika energie dodávanou v palivu u E32, E70 a N95</i> | 51 |
| <i>Obr. 30: Otáčková charakteristika celkové účinnosti u paliv E32, E70 a N95</i> | 52 |

11 SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| <i>Tab. 1: Porovnání základních vlastností LPG a benzínu [41; 61; 62]</i> | 14 |
| <i>Tab. 2: Porovnání charakteristik zemního plynu a benzínu [41; 43; 55; 61; 62].....</i> | 17 |
| <i>Tab. 3: Porovnání vlastností alkoholů s benzínem [17; 41; 43; 55; 61; 62].....</i> | 22 |
| <i>Tab. 4: Porovnání základní charakteristiky etanolu, ETBE a benzínu [41; 45; 55; 61]</i> | 26 |
| <i>Tab. 5: Emisní limity zážehových motorů [52]</i> | 32 |
| <i>Tab. 6: Parametry vířivého dynamometru [65]</i> | 37 |
| <i>Tab. 7: Technické parametry zkoušeného motoru [65]</i> | 38 |
| <i>Tab. 8: Atmosférické podmínky na zkušební motoru</i> | 39 |
| <i>Tab. 9: Základní vlastnosti měřených paliv</i> | 41 |
| <i>Tab. 10: Vstříkované dávky paliva pro N95, E70 a E32</i> | 43 |
| <i>Tab. 11: Naměřené a dopočítané hodnoty pro palivo N95.....</i> | 44 |
| <i>Tab. 12: Naměřené a dopočítané hodnoty pro palivo E70.....</i> | 44 |
| <i>Tab. 13: Naměřené a dopočítané hodnoty pro palivo E32.....</i> | 45 |